8-я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

"НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ"

РОНКТД

18-20 марта 2009 г., СК "Олимпийский"

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

45 лет

НИИИН МНПО "Спектр"

Спонсоры конференции

АССОЦИАЦИЯ "СПЕКТР-ГРУПП"
ASSOCIATION "SPEKTR-GROUP"

primexpo

индустрия СЕРВИС

www.spektr-group.ru www.primexpo.ru www.ndt-is.ru

Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору
Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике
Федеральное агентство по науке и инновациям
Российская академия наук
Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии
Российский союз промышленников и предпринимателей

Европейская федерация по неразрушающему контролю (EFNDT)
Всемирный комитет по неразрушающему контролю (ICNDT)

8-я Международная конференция

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Программа конференции. Тезисы докладов

18–20 марта 2009 г.
Москва

СПОНСОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

АССОЦИАЦИЯ "СПЕКТР-ГРУПП"
ASSOCIATION "SPEKTR-GROUP"

primexpo

индустрия СЕРВИС

www.spektr-group.ru **www.primexpo.ru** **www.ndt-is.ru**

Москва, Издательский дом "СПЕКТР", 2009

УДК [681.518.54+620.19](035)
ББК 30.82-5я2
Н54

Н54 **Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности.** 8-я Международная конференция: Программа конференции. Тезисы докладов. Москва, 18–20 марта 2009 г. – М.: ИД «Спектр», 2009. – 160 с.: ил.
ISBN 978-5-904270-04-9

Сборник содержит тезисы научных докладов, представленных на 8-й Международной конференции. Изложены результаты работ более 100 российских и зарубежных фирм – мировых лидеров по производству средств неразрушающего контроля и технической диагностики. В состав сборника вошли работы в области техногенной диагностики, антитеррористической диагностики, экологической диагностики, технического регулирования и определения остаточного ресурса.

УДК[681.518.54+620.19](035)
ББК 30.82-5я2

ISBN 978-5-904270-04-9

© РОНКТД, 2009

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

8-й Международная конференция.
Программа конференции. Тезисы докладов

Редакционный совет: *Б.В. Артемьев, П.Е. Клейзер*
Корректор *С.В. Сидоренко*
Инженер по компьютерному макетированию *Г.Ю. Корабельникова*
Художественное оформление *Н.В. Клейзер*

ISBN 978-5-904270-04-9
9 785904 270049

Сдано в набор 04.02.2009 г. Подписано в печать 26.02.2009 г. Формат 70×100 $^1/_{16}$.
Бумага офсетная. Гарнитура Times. Печать офсетная.
Уч.-изд. л. 12,5. Тираж 200 экз. Заказ

ООО «Издательский дом «СПЕКТР»,
119048, Москва, ул. Усачева, д. 35, стр. 1.
Http://www.idspektr.ru. E-mail: idspektr@rambler.ru

Отпечатано в ГУП ППП "Типография "Наука" РАН,
121099, Москва, Шубинский пер., 6

8-я Международная конференция

«НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ»

18-20 марта 2009 г. СК «Олимпийский»

ПРОГРАММА КОНФЕРЕНЦИИ

18 марта 2009 г., среда, 12:00-13:00
Торжественное открытие выставки и конференции

18 марта 2009 г., среда, конференц-зал, 13:00-18:00
Руководители: Клюев В.В., Артемьев Б.В, Бобров В.Т.

13:00-13:15

1. **НИИИН МНПО «Спектр» – 45 лет**
Клюев В.В., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия …….. 15

13:15-13:30

2. **РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА И ФОРМИРОВАНИЕ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ МИРОВОГО УРОВНЯ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**
Клименов В.А., Krűning M.*, Капранов Б.И., Кулешов В.К., Arnold W., Шумихин В.Ф., Алхимов Ю.В., Калиненченко Н.П., Толмачев И.И., ТПУ НИИИН, Томск, Россия, *Fraunhofer IZFP, Германия ……. 17

13:30-13:45

3. **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И СОЗДАНИЕ МОБИЛЬНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИНТРОСКОПОВ**
Буклей А.А, ООО «Флэш электроникс», Москва, Россия …… 19

13:45-14:00

4. **УСТАНОВКА АВТОМАТИЧЕСКАЯ ДЛЯ РЕНТГЕНОВСКОГО КОНТРОЛЯ КОЛЬЦЕВЫХ СВАРНЫХ ШВОВ В СИСТЕМЕ ТРУБА–ТРУБНАЯ ДОСКА**
Коковкин А.В., Твердохлебов В.Н., Усачев Е.Ю., Чахлов С.В., ООО «Диагностика-М», Москва, Россия …… 20

14:00-14:15

5. **ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛЯХ С МЕТАСТАБИЛЬНЫМ АУСТЕНИТОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ**
Горкунов Э.С., Задворкин С.М., Митропольская С.Ю., Соловьев К.Е., ИМаш УрО РАН, Екатеринбург, Россия …… 21

14:15-14:30

6. **КОМПЛЕКСЫ СРЕДСТВ АНТИТЕРРОРА**
Ковалев А.В., Матвеев В.И., Студитский А.С., Федчишин В.Г., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия ……. 22

14:30-14:45

7. **КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ ОБРАБОТАННЫХ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УПРОЧНЯЮЩЕ-ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ**
Палаев А.Г., НИЦУТ СЗТУ, Санкт-Петербург, Россия …… 22

14:45-15:00

8. **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УПРУГИХ ВОЛН В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В ОБЛАСТИ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ**
Митенков Ф.М., Коротких Ю.Г., Панов В.А., Пичков С.Н., ОАО «ОКБМ Африкантов»,
Углов А.Л., Хлыбов А.А., НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н. Новгород, Россия …….. 24

15:00-15:15

9. **КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ ЭКСПЕРТИЗЕ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**
Лепихин А.М., Черняев А.П., ИВМ СО РАН, НПО «СибЭРА», Красноярск, Россия 27

15:15-15:30

10. **ИТОГИ РАЗВИТИЯ МЕТОДА МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА В РОССИИ И ДРУГИХ СТРАНАХ**
Дубов А.А., ООО «Энергодиагностика», Москва, Россия …….. 27

15:30-15:45

11. **СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ОПЕРАТИВНОЙ МЕТАЛЛОГРАФИИ ПОЛНОГО ЦИКЛА**
Филинов М.В., Маслов А.А., Фурсов А.С., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр»,
Москва, Россия ……. 29

15:45-16:00

12. **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА**
Голубятников И.В., Нащекин А.С., Шатерников В.Е., МГУПИ, Москва, Россия … 29

16:00-16:15

13. **ДИАГНОСТИКА ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ, ПРИМЕНЯЕМОЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**
Погодин В.К., Верхозин Н.А., Кузнецов К.А., ОАО «ИркутскНИИхиммаш»,
Иркутск, Россия …… 30

16:15-16:30

14. **ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЯ И ПОТОКА И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ П-ОБРАЗНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВА КОНТРОЛИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ**
Костин В.Н., Лукиных О.Н., Смородинский Я.Г., Костин К.В., Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия …….. 32

16:30-16:45

15. **НАЗЕМНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ГАЗОПРОВОДОВ**
Коннов Вл.Вл., ЗАО НПЦ «Молния», Москва, Россия ……. 34

16:45-17:00

16. **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ТОКОСЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**
Ли В.Н., ГОУ «ДВГУПС», Хабаровск, Россия ……. 35

17:00-17:15

17. **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС ПОСЛЕ ВЫРАБОТКИ НОРМАТИВНОГО СРОКА СЛУЖБЫ**
Гринь Е.А., ОАО «Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт» (ВТИ), Москва, Россия …….. 37

17:15-17:30

18. **КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ ШВОВ ТОЛСТОСТЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПОМОЩЬЮ МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО НАКЛОННОГО ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**
Ткаченко А.А., НИИНК АО «ИНТРОСКОП», Кишинев, Молдова …… 39

17:30-17:45

19**. МАГНИТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАССОВЫХ ПАРТИЙ СТАЛЬНЫХ И ЧУГУННЫХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ И МЕТАЛЛУРГИИ**
Сандомирский С.Г., ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», Минск, Беларусь …… 40

17:30-17:45

20. **THE MONITORING OF CRACK GENERATION PROCESSES OF ROTOR SYSTEM S ROTATING ELEMENTS**
Volkovas V., Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania …… 42

19 марта 2009 г., четверг, конференц-зал, 10:00-15:00

Руководители: Артемьев Б.В., Бобров В.Т., Федосенко Ю.К.

10:00-10:15

21. **ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ УТЕЧКИ**
Сажин С.Г., Мясников В.М., Дзержинский политехнический институт НГТУ, Дзержинск, Россия …….. 44

10:15-10:30

22. **ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ПРИ УЗ-КОНТРОЛЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ**
Качанов В.К., Соколов И.В., Воронкова Л.В.*, Родин А.Б., Московский энергетический институт, Москва, Россия, *ОАО НПО "ЦНИИТМАШ", Москва, Россия … 45

10:30-10:45

23. **ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ ЭЛЕКТОРОМАГНИТНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ В ПОТОКЕ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА**
Федосенко Ю.К., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия ……. 47

10:45-11:00

24. **НОВЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ВИХРЕТОКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ**
Бакунов А.С., Ефимов А.Г., Шубочкин А.Е., ЗАО "НИИИН МНПО "Спектр", Москва, Россия ……. 48

11:00-11:15

25. **МАГНИТНАЯ КОАГУЛЯЦИЯ ЧАСТИЦ КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ**
Шелихов Г.С., ЗАО ДНТЦ «Дефектоскопия», Москва, Россия …….. 49

11:15-11:30

26. **МЕХАНИЗМ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТА В СВЕТОРАССЕИВАЮЩИХ МАТЕРИАЛАХ**
Потапов А.И., Клопов В.Д., СЗТУ, Санкт-Петербург, Россия ……. 49

11:30-11:45

27. **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДЕФЕКТОСКОПИИ ДЛИННОМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПЕРЕХОДНЫМ РАЗМЕРОМ СЕЧЕНИЯ**
Сучков Г.М., Ноздрачева Е.Л., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина …….. 51

11:45-12:00

28. **ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ТОМОГРАФОМ С ВИРТУАЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКОЙ**
Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г., ООО «Акустические Контрольные Системы», Москва, Россия …….. 52

12:00-12:15

29. **РАССЕЯНИЕ ВОЛН РЭЛЕЯ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ТРЕЩИНАМИ С ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИМИ БЕРЕГАМИ**
Аббакумов К.Е., Бритвин В.А.*, Коновалов Р.С., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия, *ООО “Компания “Нординкрафт”, Череповец, Россия …….. 53

12:15-12:30

30. **СТАЦИОНАРНАЯ СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ**
Аристов В.П., Сизов С.В., ОАО «РЖД», Москва, Россия;
Костюков В.Н., Казарин Д.В., Лагаев А.А., Стариков В.А., ОмГУПС, Омск, Россия;
Костюков А.В., Кадисов Л.Г., НПЦ «Динамика», Омск, Россия …… 54

12:30-12:45

31. **АВТОМАТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ТОКОПРИЕМНИКОВ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА**
Стариков В.А., ОмГУПС, Омск, Россия ……. 55

12:45-13:00

32. **ОСОБЕННОСТИ РАССЕЯНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА СЛОЖНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОБЪЕКТАХ**
Теплякова А.В., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия …… 56

13:00-13:15

33. **ПРИМЕНЕНИЕ MFL-СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДЕФЕКТОСКОПИИ И ДЕФЕКТОМЕТРИИ ДНИЩ РЕЗЕРВУАРОВ**
Слесарев Д.А., ООО «ИНТРОН-ПЛЮС», Москва, Россия …….. 57

13:15-13:30

34. **КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ВИБРАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ**
Подмастерьев К.В., Семенов В.В., Орловский государственный технический университет, Орел, Россия …….. 58

13:30-13:45

35. **СИГНАЛЫ НАКЛАДНОГО ВТП ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДЕФЕКТОВ ПЛОСКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ**
Тюпа И.В., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт» Харьков, Украина ……. 59

13:45-14:00

36. **ПРИМЕНЕНИЕ БЕТАТРОНОВ В КОМПЛЕКСАХ РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ**
Касьянов В.А.*, Касьянов С.В.*, Токач Е.Ф.*, Чахлов В.Л.*, Чахлов С.В.*, Штейн М.М.*, Усачев Е.Ю., Лебедев М.Б., Чумаков Д.М., ТСНК МИРЭА, Москва, Россия, *ФГНУ «Научно-исследовательский институт интроскопии», Томск, Россия 60

14:00-14:15

37. **МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗЦОВ С ТРЕЩИНАМИ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ**
Глазков Ю.А., ФГУ «13 ГНИИ Минобороны России», Люберцы, Московская обл., Россия ……. 64

14:15-14:30

38. **ОРГАНИЗАЦИЯ НАДЗОРА ЗА СОСТОЯНИЕМ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**
Лисицын В.И., Туробов Б.В., Королев М.В., Лукьяненко Э.А., Глотов Д.А., ЗАО МНПО «Спектр», Москва, Россия ……. 65

14:30-14:45

39. **AUTOMATED CONDITION ASSESSMENT OF BOILER WATER WALL TUBES USING REMOTE FIELD TECHNOLOGY. "A REVOLUTION OVER TRADITIONAL AND EXISTING TECHNIQUES"**
Ankit Vajpayee, Russell NDE Systems Inc., 4909 75Ave, Edmonton, AB, Canada …… 66

14:45-15:00

40. **ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТРУБ И СОЕДИНЕНИЙ МЕЖПРОМЫСЛОВЫХ НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ НИЗКИХ, КЛИМАТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУР**
Климов В.В., Рожемберская Г.Ю., Волчков В.Д., Антипин В.В., ОАО «Иркутск-НИИхиммаш», Иркутск, Россия ……. 67

20 марта 2009 г., пятница, конференц-зал, 12:00-14:00
Награждение победителей Всероссийского конкурса специалистов по неразрушающему контролю

Президиум: Клюев В.В., Бирюкова Н.П., Сидоров В.И., Коновалов Н.Н., Лисицын В.И.

Стендовые доклады
18 марта 2008 г., среда, зал стендовых докладов, 13:00-15:30

С.1. МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ КОЛЬЦЕВЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА
Дубов А.А., Колокольников С.М., Собранин А.А., Миляев А.И., ООО «Энергодиагностика», Москва, Россия …… 69

С.2. МЕТОДИКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТРЕХМЕРНЫХ ДЕФЕКТОВ В КОМПОЗИТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
Николаев А.А., МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия ……. 70

С.3. КАЛИБРОВКА СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО ТОКА МАГНИТОПОРОШКОВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ
Лисицын В.И., Шелихов Г.С., ЗАО «МНПО «Спектр», Глазков Ю.А., ДНТЦ «Дефектоскопия», Москва, Россия ……. 72

С.4. «KOWOLUX X3» – НЕГАТОСКОП НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ
Мартынов С.А., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия,
Хёрауф Ф., «КОВОТЕСТ ГмбХ», г. Лангенфельд, Германия ……. 72

С.5. НЕРАЗРУШАЮЩАЯ ДИАГНОСТИКА СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ОСТЫВАНИИ ШВА
Куров Д.А., Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия 74

С.6. ГРУППА ДИНАМИЧЕСКИХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ
Мишин В.В., ГОУ ВПО «Орловский государственный технический университет», Орел, Россия ……. 76

С.7. ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ РЕМОНТНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ
Пахолкин Е.В., Анцифорова Е.В., ГОУ ВПО «Орловский государственный технический университет», Орел, Россия ……... 78

С.8. ИССЛЕДОВАНИЕ КАВИТАЦИИ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ В ВОДНОЙ СРЕДЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МНОГОВОЛНОВОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАСКАДНОГО ВОЛНОВОДА
Новик А.А., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия …… 80

С.9. ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРИБОРОВ АКУСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА
Патракеев Н.В., Потапов И.А., Махов В.Е., Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия …… 82

С.10. ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ТРИБОСОПРЯЖДЕНИЯХ
Подмастерьев К.В., Марков В.В., ГОУ ВПО «Орловский государственный технический университет», Орел, Россия ……. 84

С.11. ФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ
Власов В.Т., Дубов А.А., ООО «Энергодиагностика», Москва, Россия ……. 85

С.12. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ПРЯМОГО СОВМЕЩЕННОГО ЭМА-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН ДЛЯ ЗАДАЧ ТОЛЩИНОМЕТРИИ
Алехин С.Г., ООО «Акустические Контрольные Системы», Москва, Россия …… 86

С.13. ОРГАНИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, ПРОВЕРЯЕМЫХ КАПИЛЛЯРНЫМИ МЕТОДАМИ
Глазков Ю.А., ФГУ «13 ГНИИ Минобороны России», Люберцы, Московская обл., Россия ……. 87

С.14. ИНДУКЦИОННЫЙ МАГНИТОПОРОШКОВЫЙ КОНТРОЛЬ КОЛЬЦЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ
Дубровин Д.В., Глазков Ю.А., ФГУ «13 ГНИИ Минобороны России», Люберцы, Московская обл., Россия …….. 88

С.15. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ОПЫТ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СЛОЖНЫХ ФОРМ
Каксис А.О., Тараканов Ю.В., Каксис Ю.А.,ФГУ «13 ГНИИ Минобороны России», Люберцы, Московская обл., Россия …… 88

С.16. ОСНОВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА С ТОМОГРАФИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ
Козлов В.Н., ООО «Акустические Контрольные Системы», Москва, Россия …… 89

18 марта 2008 г., среда, зал стендовых докладов, 15:30-18:00

С.17. ДИАГНОСТИКА ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА
Дубов А.А., ООО «Энергодиагностика», Москва, Россия …… 90

С.18. АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ
Сенцов С.И., РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва, Россия ……..… 91

С.19. КОМПЛЕКСНЫЙ КОНТРОЛЬ СТРУННЫХ МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ
Махов В.Е., Борисов Е.Г., Махова В.А., Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия …… 92

С.20. ПОГРЕШНОСТИ РОТАМЕТРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ
Миронов Ю.С., Потапов А.И., Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия …… 93

С.21. ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПОРЭМИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ
Молочков К.А., Дзержинск, Россия …… 94

С.22. КОМПЕНСАЦИЯ ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НА ВЫЯВЛЯЕМОСТЬ ДЕФЕКТА
Клопов В.Д. ,Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия …….. 95

С.23. СВЧ-КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
Клопов В.Д., Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия …….. 97

С.24. МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ
Костюков В.Н., НПЦ «ДИНАМИКА», Омск, Россия ……. 98

С.25. РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ОТБОРА ДЛЯ КОМПТОНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ НА БАЗЕ МНОГОКАНАЛЬНОГО КОЛЛИМАТОРА
Белкин Д.С., Капранов Б.И.,ТПУ НИИИН, Томск, Россия …….. 99

С.26. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ АПЕРТУРА КОЛЛИМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ИХ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЬ
Дашиева О.Ц., Короткова И.А. Капранов Б.И, НИИИН ТПУ, Томск, Россия …….. 101

С.27. МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА ОБРАТНОГО ПРОЕЦИРОВАНИЯ К ЗАДАЧАМ КОМПТОНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ
Кривовяз С.В., Братусь М.О., Капранов Б.И., ТПУ НИИИН, Томск, Россия …… 103

С.28. НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ
Вавилов В.П., Нестерук Д.А., НИИИН ТПУ, Томск, Россия …… 105

С.29. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРА ОБРАТНОРАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПИНХОЛЬНЫМ КОЛЛИМАТОРОМ
Мудров М.А., Капранов Б.И., ТПУ НИИИН, Томск, Россия …… 106

С.30. ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОСРЕДСТВОМ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ И ПАРАМЕТРОВ ШУМОВ БАРКГАУЗЕНА
Горкунов Э.С., Поволоцкая А.М., Соловьев К.Е., Задворкин С.М., Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия …… 107

19 марта 2009 г., четверг, зал стендовых докладов, 10:00-12:30

С.31. ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ ТИПА ЖГР ПО ИХ МАГНИТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ
Горкунов Э.С., Субачев Ю.В., Митропольская С.Ю., Задворкин С.М., Коковихин Е.А., Ульянов А.И.*, Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, *Физико-технический институт УрО РАН, Ижевск, Россия …….. 108

С.32. ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОЗА СЛОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЕФОРМАЦИИ
Есипов Ю.В., Мухортов В.М., ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия …….. 110

С.33. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕРКИ НЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МАГНИТОПОРОШКОВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
Лисицын В.И., Шелихов Г.С., ЗАО «МНПО «Спектр», Москва, Россия;
Глазков Ю.А., ДНТЦ «Дефектоскопия», Москва, Россия …….. 112

С.34. ШИРОКОПОЛОСНЫЙ НИЗКОЧАСТОТНЫЙ МАЛОАПЕРТУРНЫЙ МОЗАИЧНЫЙ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ
Качанов В.К., Соколов И.В., Родин А.Б., Тимофеев Д.В., Московский энергетический институт, Москва, Россия ……. 113

С.35. КОГЕРЕНТНО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ
Потапов А.И., Махов В.Е., Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия …… 115

С.36. ВОЗМОЖНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА АКР1224М ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ
Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г., ООО «Акустические Контрольные Системы», Москва, Россия …….. 117

С.37. ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРИЛОЖЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ
Горкунов Э.С., Митропольская С.Ю., ИМаш УрО РАН, Екатеринбург, Россия …… 118

С.38. ОЦЕНКА НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В ПОВЕРХНОСТНО-УПРОЧНЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЯХ ПО ИХ МАГНИТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ
Горкунов Э.С., Митропольская С.Ю., ИМаш УрО РАН, Екатеринбург, Россия …... 119

С.39. АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ
Карабегов М.А., ОАО «НПО «ЦНИИТМАШ», Москва, Россия ……. 120

С.40. РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАЛОГО ТОКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ
Брановицкий И.И., Размыслович Г.И., Мацкевич П.Д., Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь …….. 121

С.41. НИЗКОЧАСТОТНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Бакунов А.С., Воропаев С.И., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия … 123

С.42. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ. РАЗРАБОТКА ЭМА-ТОЛЩИНОМЕРА
Ремезов В. Б., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия …….. 124

С.43. КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО МАГНИТОПОРОШКОВОМУ МЕТОДУ КОНТРОЛЯ
Тарасенков Г.А., ЗАО «МНПО «Спектр», Москва, Россия …….. 125

С.44. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТИПОВЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ОБРАТНОМ РАССЕЯНИИ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
Буклей А.А., ООО "Флэш электроникс", Москва, Россия …… 127

С.45. ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТОНКОСТЕННЫХ СОСУДОВ И АППАРАТОВ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ
Лепихин А.М., Москвичев В.В., Черняев А.П., ИВМ СО РАН, НПО «СибЭРА», Красноярск, Россия …… 127

С.46. МОДЕЛИРОВАНИЕ ВТП ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ
Горкунов Б.М., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина …….. 128

19 марта 2009 г., четверг, зал стендовых докладов, 12:30-15:00

С.47. СТАНДАРТИЗАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК
Воронкова Л.В., ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», Москва, Россия …… 129

С.48. УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭМАП ПРИ ПРИЕМЕ ВОЛН РЭЛЕЯ
Сучков Г.М., Келин А.А. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ХХП «Сертификационный центр АСУ», Харьков, Украина 129

С.49. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТОРОМ ПОЛИЭТЕРИФИКАЦИИ С ДИАГНОСТИЧЕСКИМ КОНТРОЛЕМ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА
Панюшкина М.С., Дзержинский политехнический институт (филиал Нижегородского государственного технического университета), Дзержинск, Нижегородская обл., Россия 130

С.50. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СХЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ
Махов В.Е., Потапов А.И., Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия …… 131

С.51. ФАЗОВО-РАСТРОВЫЙ МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ
Махов В.Е., Потапов А.И., Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия …… 133

С.52. АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА С ДИАГНОСТИКОЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
Ильин А.А., Сажин С.Г., Нижегородский государственный технический университет, Дзержинский политехнический институт (филиал), Дзержинск, Россия …… 134

С.53. АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ШУМА КУЛЕРОВ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ
Патракеев Н.В., Махов В.Е., Потапов А.И., Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия ……. 135

С.54. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ДИАГНОСТИКОЙ ПАРАМЕТРОВ ВХОДНЫХ ПОТОКОВ
Павлова Н.С., Дзержинский политехнический институт (филиал Нижегородского государственного технического университета), Дзержинск, Нижегородская обл., Россия … 137

С.55. АНАЛИЗ И ОБЗОР ВАКУУМНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ И ЁМКОСТЕЙ
Костиков Е.С., Сажин С.Г., Мясников В.М., Дзержинский политехнический институт (филиал Нижегородского государственного технического университета), Дзержинск, Нижегородская обл., Россия ……. 138

С.56. РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАРОК СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ
Махов В.М., Федосенко Ю.К., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия ……. 139

С.57. СТРУКТУРОСКОП МС-10
Бакунов А.С., Артемов В.А., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия …… 139

С.58. МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ПРОВЕРКИ КАЧЕСТВА МАГНИТНЫХ ПОРОШКОВ И СУСПЕНЗИЙ МФ-10СП
Бакунов А.С., Кудрявцев Д.А., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия ……. 141

С.59. СИСТЕМЫ С ДВУМЯ ФЛУОРОФОРАМИ В ПЕНЕТРАНТАХ ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ
Хролова О.Р., Пономарева О.В., Тавризова М.А., Глазков Ю.А. ,ООО НПФ "ДЕЛТАКОР", Долгопрудный, Московская обл., Россия ……. 142

С.60. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛЕНОИДОВ ПРИ МАГНИТОПОРОШКОВОМ КОНТРОЛЕ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ
Прудинник С.А., ФГУ «13 ГНИИИ Минобороны России», Люберцы, Московская обл., Россия …….. 143

С.61. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИНДИКАТОРНЫХ РИСУНКОВ ДЕФЕКТОВ ПУТЕМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ КОНТРАСТА
Прудинник С.А., ФГУ «13 ГНИИИ Минобороны России», Люберцы, Московская обл., Россия …….. 144

19 марта 2009 г., четверг, зал стендовых докладов, 15:00-17:30

С.62. БИС-АЗОКРАСИТЕЛИ С ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНОЙ ВОДОРОДНОЙ СВЯЗЬЮ В ПЕНЕТРАНТАХ ДЛЯ ЦВЕТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ
Пономарева О.В., Глазков Ю.А., Хролова О.Р., ООО НПФ "ДЕЛТАКОР", Долгопрудный, Московская обл., Россия …… 145

С.63. БЕСКОНТАКТНАЯ ДИАГНОСТИКА ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ
Дубов А.А., Дубов Ал.А., ООО «Энергодиагностика», Москва, Россия …… 145

С.64. ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЛИЗНЫ ПРОЯВИТЕЛЕЙ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ В ТОНКОМ СЛОЕ
Глазков Ю.А., ФГУ «13 ГНИИ Минобороны России», Люберцы, Московская обл., Россия ……. 147

С.65. СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БЕСКОНТАКТНЫХ ТОЛЩИНОМЕРОВ
Артемьев Б.В., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия …….. 148

С.66. ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОРРЕКТИРУЮЩЕГО КОНТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ
Сажин В.А., Дзержинский политехнический институт (филиал Нижегородского государственного технического университета), Дзержинск, Нижегородская обл., Россия ……. 148

С.67. ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕНТГЕНОВСКИХ ТОЛЩИНОМЕРОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
Артемьев Б.В., ЗАО НИИИН МНПО «СПЕКТР», Москва, Россия;
Созонтов А.А., КЗОЦМ, Киров, Россия ……. 150

С.68. ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ
Казарин Д.В., ОмГУПС, Омск, Россия …….. 150

С.69. МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ФРИКЦИОННОГО КОНТАКТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОРЕЗИСТИВНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ
Марков В.В., Орловский государственный технический университет, Орел, Россия 151

С.70. ПРИМЕНЕНИЕ ОТСЕИВАЮЩЕГО РАСТРА В ДЕФЕКТОСКОПИИ
Москалев Ю.А., Буллер А.И., ГОУвПО ТПУ НИИ ИН, Томск, Россия …….. 152

С.71. СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ
Науменко А.П., Омский государственный технический университет, Омск, Россия 154

С.72. НОВЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРКИ СТАЛЬНЫХ СОСУДОВ И ТРУБОПРОВОДОВ
Федюкович Г.И., ОАО «ИркутскНИИхиммаш», Иркутск, Россия …….. 157

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ …….. 158

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

1. НИИИН МНПО «СПЕКТР» – 45 ЛЕТ

Клюев В.В., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия

Сегодня мы отмечаем 45-ю годовщину прославленного коллектива Научно-исследовательского института интроскопии. К каждому юбилею мы издаем специальные выпуски журналов, рассказывающие о наших достижениях. Так было в 20-, 25-, 30-, 35-, 40-летние юбилеи. И вот для очередного юбилея мы подготовили выпуск журнала «Контроль. Диагностика» – 45 лет НИИИН МНПО «Спектр».

Научно-исследовательский институт интроскопии (НИИИН) был создан в мае 1964 г. в Москве по Постановлению Правительства СССР для решения задач контроля качества и технической диагностики изделий металлургической, машиностроительной и оборонной промышленности. Это был период, когда, в отличие от настоящего времени, формировались главные задачи научно-технического развития страны, выделялись необходимые ресурсы, организовывались новые научные и промышленные предприятия, которые давали конкретный практический результат.

Для отечественных предприятий прикладной науки, на мой взгляд, сейчас наступил один из самых трудных периодов выживания, когда без государственной поддержки закрываются сотни НИИ и опытных производств. (В Москве за последние 5 лет исчезло более 200 предприятий прикладной науки). Аналогичная ситуация складывается и в Европе, где сохраняются предприятия неразрушающего контроля (НК) и технической диагностики (ТД), имеющие государственную поддержку, а остальные скупаются мощными компаниями США. Усилилась конкуренция на мировом рынке по многотысячной номенклатуре приборов НК и ТД, что требует изыскания дополнительных инвестиций для отечественных НИИ прикладной науки.

Главное наше преимущество – интеллектуальный потенциал. И сегодня коллектив НИИИН как всегда ярко демонстрирует это, отмечая очередной юбилей активной профессиональной деятельностью.

Среди лидеров института хочется назвать: Б.М. Кантера (медицинская рентгенодиагностика), М.В. Филинова (оптический и капиллярный контроль), А.В. Ковалева (антитеррористическая диагностика), Ю.К. Федосенко (электромагнитный контроль), А.А. Самокрутова (ультразвуковая диагностика), М.В. Королева, В.И. Лисицына (сертификация персонала), Б.В. Артемьева (рентгеновская толщинометрия), А.С. Бакунова, А.Г. Ефимова (магнитный контроль), В.Н. Кольцова, А.В. Изотова (комплексные диагностические лаборатории) и многих других. В последние годы появились и новые лидеры – В.Т. Бобров, А.С. Студитский, А.Г. Ефимов, З.В. Клюев, Г.А. Тарасенков и др.

К сожалению, НИИ интроскопии за 45 лет существования потерял многих всемирно известных выдающихся ученых в области НК и ТД – П.К. Ощепкова, Ф.Р. Соснина, В.Ф. Мужицкого, В.В. Тихомирова, А.Н. Кронгауза, Ю.И. Иориша, В.Г. Рыгалина, В.А. Клочко, В.Н. Филиппова, Н.А. Орлова и др. Ушли за последние годы наши прославленные коллеги и из других институтов – признанные в мире ведущие ученые И.Н. Ермолов (ультразвуковой контроль), В.Г. Герасимов (электромагнитный контроль), К.В. Фролов (виброметрия) и др.

Несмотря на пополнение научного кадрового состава института в 2006 г. действительным членом РАН, суммарный научный потенциал катастрофически

падает. Поэтому мы считаем своей важнейшей задачей подготовку высокопрофессиональных специалистов – новых лидеров НК и ТД – совместно с ведущими вузами страны: МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГУ им. М.В. Ломоносова, МГУПИ, МИРЭА и др.

Большим достижением НИИИН было создание в 2001 г. на базе МНПО «Спектр» ассоциации «Спектр-групп», в которую вошли 25 предприятий, среди которых такие, как: русско-французское предприятие «СпектАп», русско-германское предприятие «Себа-Спектрум», ОАО «Автогаз», ООО «Акустические контрольные системы», «Молния-Спектр», «Флэш-Электроникс», «Ака-Гео», «Диагностика-М», «Вигор», «Вемо», «Эхо+», «Интерюнис», «Виброспектр», «Индустрия-Сервис» и др.

В перспективе для коллектива НИИН координация и организация работ по НК и ТД ассоциации «Спектр-Групп» будет одной из важнейших.

Главными научными задачами, которые можно сегодня прогнозировать на ближайшие 5 лет, на мой взгляд, нужно назвать следующие:

– продолжить развитие всех основных методов НК в плане повышения их метрологических характеристик (чувствительности, разрешающей способности и др.) производительности контроля, комплексирования методов, максимальной дистанционности мониторинга на основе статистических баз диагностических параметров объектов контроля и т.п.;

– теоретически и практически войти в нанодиапазон для всех методов НК, максимально используя возможности нанодиагностики для преобразователей и систем считывания информации;

– ускорить переход от систем дефектоскопии, структуроскопии и измерения размеров к системам (автоматизированым) определения остаточного ресурса объектов и риска их эксплуатации;

– многократно усилить работу по экодиагностике и многопрофильным антитеррористическим диагностическим системам;

– подготовить и опубликовать материалы по инновациям, новые книги, научные труды, банки вопросов для сертификации персонала и приборов по всем методам НК и ТД;

– продолжить развитие систем и приборов медицинской рентгеновской диагностики.

Пять лет назад мы не могли себе представить, что Европейская федерация по неразрушающему контролю проголосует за проведение 10-й Европейской конференции по НК в 2010 г. в Москве. На всех руководителей подразделений РОНКТД и, естественно, НИИИН возлагается ведущая роль по организации конференции и выставки, в которых должны принять участие представители и специалисты по НК более 40 стран мира. У нас был первый очень сложный опыт в 1982 г., 27 лет назад, когда мы на высочайшем уровне провели в Москве 10-ю Всемирную конференцию но НК.

Поэтому **главная организационная задача** на ближайший период для НИИИН МНПО «Спектр» – провести на высшем уровне юбилейную 10-ю Европейскую конференцию по НК в «Экспоцентре», в Москве, 7–11 июня 2010 г.

Надеюсь, что 45-летний опыт и потенциал коллектива позволят эффективно решить все научные, организационные, а также финансовые и бюрократические проблемы в этом направлении.

Еще раз хочу поблагодарить всех сотрудников и коллег ассоциации «Спектр-групп» за достигнутые успехи, несмотря на сложную окружающую обстановку, а коллектив НИИИН за 45 лет трудного процветания. Диагностика была и всегда будет основой безопасности и развития всех предприятий и их сотрудников.

2. РАЗВИТИЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА И ФОРМИРОВАНИЕ НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СРЕДЫ МИРОВОГО УРОВНЯ В ОБЛАСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Клименов В.А., Krűning M.*, Капранов Б.И., Кулешов В.К., Arnold W.*, Шумихин В.Ф., Алхимов Ю.В., Калиниченко Н.П., Толмачев И.И., ТПУ, НИИИН, Томск, Россия,
*Fraunhofer IZFP, Германия

Обеспечение качества выпускаемой продукции, а также надежности и безопасности эксплуатации существующих машин, механизмов, зданий, сооружений, нефте- и газопроводов, транспортных средств и т.д. становится все более актуальной проблемой как для каждого государства, так и для мирового сообщества в целом. Развитие этой области человеческих знаний и грамотное использование имеющихся возможностей требует подготовки высококвалифицированного персонала. Обеспеченность специалистами в сфере неразрушающего контроля (НК) технической диагностики (ТД) является одним из важнейших условий выживаемости и успешного функционирования каждого государства. Анализ состояния подготовки специалистов по НК и ТД в университетах мира показал, что ни в одном университете не готовят специалистов, обладающих интегративными знаниями по основным видам НК и ТД. Как правило, вопросы НК и ТД рассматриваются в контексте магистерских программ широкого профиля (например, материаловедения). Необходимые условия подготовки кадров по НК и ТД созданы в Томском политехническом университете, где имеются профильная кафедра «Физические методы и приборы контроля качества» и профильный институт НИИ интроскопии. Исторически сложился учебно-научно-производственный комплекс (УНПК), обеспечивающий: научные исследования в области взаимодействия физических полей с веществом; исследование и разработку новейших, высокоинформативных методов НК и ТД; разработку, изготовление, внедрение средств НК и ТД; подготовку бакалавров, инженеров, магистров по специальности 200102 «Приборы и методы контроля качества и диагностики», специалистов по специальности 220501 «Управление качеством», переподготовку, повышение квалификации специалистов в области НК и ТД; аттестацию специалистов НК по I,II,III международным уровням.

Достигнутый уровень учебно-научно-образовательного процесса в области неразрушающего контроля позволил ТПУ выиграть государственный грант по теме «Опережающая подготовка элитных специалистов и команд профессионалов мирового уровня в сфере неразрушающего контроля и технической диагностики» (программа № 6 «Инновационной образовательной программы ТПУ»). В 2007–2008 годах под эту программу выделено 70 млн руб., что позволило создать «Центр опережающей подготовки специалистов в области неразрушающего контроля», включающий в себя лаборатории ультразвукового контроля, радиационного, электромагнитного, визуального, акустоэмиссионного, теплового, оптического и вибродиагностики. Для освоения навыков современного проектирования, разработки электронных схем и монтажа приборов создана лаборатория электронных и измерительных систем в неразрушающем контроле и систем автоматизированного проектирования. В распоряжении центра приборы и оборудование, уникальные по своим характеристикам, от ведущих мировых производителей: OLIMPUS NDT, Канада; TIME GROUP INC, США; KRAUTKRAMER, Германия; FLIR,

США; MISTRAS Holding Company, США; Durr NDT; АО «Интроскоп», Молдавия; МНПО «Спектр», МИРЭА, «ПЕРГАМ», «КОНСТАНТА», SMART Electronics, «ПАНАТЕСТ», «ЛУЧ», Россия и др. Современная лабораторная база, а также уникальное оборудование для научных исследований, имеющееся в НИИ интроскопии, позволяют создавать бакалаврские, инженерные и магистерские программы, предусматривающие формирование у выпускников компетенций более высокого уровня, соответствующих требованиям и международных и современных российских образовательных систем (FEANI, ENAEE, AUOP).

Основой реализации учебного процесса является также методическое и программное обеспечение учебных дисциплин. В рамках реализации инновационной образовательной программы ТПУ сотрудниками кафедр электрофизического факультета подготовлено 60 учебников, учебных пособий и лабораторных практикумов, посвященных теории и практике основных методов неразрушающего контроля.

Сформирована полная база нормативных документов по безопасности, НК и ТД, действующих на территории России (Федеральные законы, ГОСТы, руководящие документы, своды правил и т.д.), на территории Евросоюза (документы серий EN, DIN, ISO и т.д.), комплект документов Американского общества неразрушающего контроля American Society of Nondestructive Testing (ASNT). Приобретены и разработаны сотрудниками ТПУ новейшие программные пакеты: ANSYS – метод конечных элементов, (10 лицензированных рабочих мест ANSYS Academic 11.0.); IMAGING 3D (8 лицензированных рабочих мест для моделирования взаимодействия акустических полей с объектами); программа моделирования взаимодействия радиационных полей с объектами (Беспалов В.А.). Широко используются также пакеты MATHCAD, MATHLAB, STATISTICA и др. Практически весь процесс обучения, связанный с применением вычислительной техники, проходит только на лицензированном программном обеспечении.

Имеющаяся в центре материальная и интеллектуальная база позволяет готовить специалистов, для которых на предприятии не будет «Белых пятен» в области теории, технологии, приборного обеспечения НК и ТД, т.е. его подготовка будет носить «опережающий» характер. Это значительно сократит время адаптации специалистов к требованиям производства.

Центр опережающей подготовки специалистов НК и ТД существенно расширяет сферу деятельности независимого органа по аттестации персонала неразрушающего контроля (НОАПНК) НИИ интроскопии, действующего с 1992 года. В настоящее время орган работает в трех системах сертификации: государственной – лицензия Госстандарта России; добровольной – лицензия Российского общества по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД); ведомственной – лицензия Ростехнадзора.

Материальная, методическая, интеллектуальная база мирового уровня позволяет разрабатывать программы магистерской подготовки, также соответствующие международному уровню. Это программы: **«Приборы и методы контроля качества и диагностики»; «Акустические приборы и системы неразрушающего контроля»; «Информационно-измерительная техника и технологии в неразрушающем контроле», «Томография».** Ведется работа по их DD-модификации совместно с европейскими университетами. Основой для разработки и модернизации магистерских программ являются:

- ориентация на компетентность выпускников как результат обучения (Learning Outcome – based Approach);
- использование кредитной системы ECTS (European Credit Transfer System) для оценки знаний, а также дидактических единиц программы, обеспечивающих их достижение;
- учет требований международных стандартов ISO 9001:2000, европейских стандартов и руководств для обеспечения качества высшего образования в рамках Болонского процесса, а также национальных и международных критериев качества образовательных программ (Ассоциации инженерного образования России).

Значительно расширена тематика научных исследований, доступность выполнения научных исследований для студентов. Создана база для дальнейшего совершенствования в Томском политехническом университете учебно-научного комплекса в области неразрушающего контроля.

3. **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ И СОЗДАНИЕ МОБИЛЬНЫХ РЕНТГЕНОВСКИХ ИНТРОСКОПОВ**

Буклей А.А., ООО «Флэш электроникс», Москва, Россия

В работе рассмотрены принципы построения мобильных рентгеновских интроскопов различного применения, основанных на регистрации как проникающего, так и обратно-рассеянного излучения.

Предложена математическая модель построения импульсных рентгеновских аппаратов. Приводятся результаты влияния коэффициента связи трансформатора Тесла, рассогласованности контуров, паразитной индуктивности на КПД преобразования энергии. Исследуется влияние межэлектродной геометрии и формы электродов рентгеновской трубки на лучевой выход и ресурс.

В докладе приводятся технические параметры и сравнительные характеристики разрядников, конденсаторов, рентгеновских трубок, специально разработанных для импульсных аппаратов серии «Шмель», «Колибри».

На основе построенных моделей импульсных рентгеновских аппаратов, оригинальной элементной базы показаны практические результаты, заключающиеся в создании ряда переносных и мобильных рентгеновских интроскопов.

В работе рассматриваются этапы развития интроскопов, основанных на регистрации обратно-рассеянного излучения.

Приводятся результаты применения разработанных интроскопов («Шмель-90/К», «Шмель-240ТВ», «Колибри-150ТВ», «Ватсон», «Ватсон-ТВ»), предназначенных для решения задач силовых структур РФ и для строительных эксплуатационных организаций ТЭК («Шмель-250»).

4. УСТАНОВКА АВТОМАТИЧЕСКАЯ ДЛЯ РЕНТГЕНОВСКОГО КОНТРОЛЯ КОЛЬЦЕВЫХ СВАРНЫХ ШВОВ В СИСТЕМЕ ТРУБА–ТРУБНАЯ ДОСКА

Коковкин А.В., Твердохлебов В.Н., Усачев Е.Ю., Чахлов С.В.,
ООО «Диагностика-М», Москва, Россия

Теплообменники, в которых один из контуров выполнен в виде группы труб, вваренных в общую торцовую доску, чрезвычайно широко распространены в промышленности. Они применяются в паровых и газовых турбинах, в атомных электростанциях и т.д. Несомненно, особо ответственными являются теплообменники атомных станций, где совершенно недопустимо попадание теплоносителя первого контура во второй контур (и наоборот).

На сегодняшний день применяют два способа радиационного контроля торцовых сварных швов труба–трубная доска: с размещением рентгеновской пленки внутри трубы и рентгеновского аппарата (или гамма-источника) на расстоянии 0,5…1,0 м снаружи и с размещением источника излучения внутри трубы, а пленки – снаружи, непосредственно поверх шва.

В первом случае приходится делать не менее 6 снимков каждого шва, что весьма трудоемко.

Во втором случае кольцевой снимок шва можно получить за одну экспозицию, что не только ускоряет контроль, но и делает его более надежным. Однако до последнего времени при этом методе контроля можно было применять только гамма-источники, так как не было рентгеновских аппаратов с вынесенным анодом достаточно малого диаметра.

Гамма-источники имеют два серьезных недостатка: у них по сравнению с рентгеновскими аппаратами малая удельная интенсивность излучения на единицу излучающей поверхности и слишком большая энергия излучения. Первое свойство вынуждает применять источники с относительно большим фокусным пятном, что не позволяет получить требующееся высокое разрешение, а высокая энергия при малых контролируемых толщинах не обеспечивает нужный контраст.

На 17-й Международной конференции U. Zscherpel и др. представили доклад о разработке метода контроля с помощью нового кабельного рентгеновского аппарата с вынесенным анодом с внешним диаметром 6 мм и фокусным пятном менее 1 мм при напряжении 130 кВ и токе 0,5 мА. При контроле сварного стального шва на рентгеновской пленке типа С3 были выявлены дефекты (типа краевых трещин) шириной 0,5 мм, а при использовании 4-х расположенных вокруг анода цифровых детекторов DIC100TH были выявлены дефекты шириной 0,3 мм.

В данной методике, как и обычно, последовательная установка аппарата и пленки в различные каналы производится вручную, что при большом числе каналов (а их в теплообменниках бывает по несколько сотен) может привести к пропуску отдельных каналов.

Практически одновременно была разработана и изготовлена установка для автоматического последовательного контроля сварных швов в трубных досках.

В установку входит моноблочный рентгеновский аппарат с выносным анодом диаметром 6 мм, фокусным пятном около 0,06 мм и током 0,2 мА при напряжении 70 кВ.

При контроле титановой трубной доски с экспозицией 30…40 с на пленке Kodak AA400 обнаруживается титановая проволочка 0,08 мм (5-я проволочка теста Ti-1).

После установки кассеты с пленкой на анод электромеханическое устройство по заданной программе вводит анод в канал, выдает команду на выполнение снимка, выводит анод из канала после экспозиции и устанавливает в позицию для просвечивания следующего канала. Оператор меняет кассету на новую и нажатием кнопки «пуск» дает команду на выполнение следующего цикла.

В зависимости от типа трубной доски шаг перемещения, напряжение и время экспозиции могут регулироваться.

Новая установка гарантирует контроль всех каналов без пропусков с соблюдением стандартного режима.

5. ОСОБЕННОСТИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СТАЛЯХ С МЕТАСТАБИЛЬНЫМ АУСТЕНИТОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ МЕТОДАМИ

Горкунов Э.С., Задворкин С.М., Митропольская С.Ю., Соловьев К.Е.,
ИМаш УрО РАН, Екатеринбург, Россия

Для определения допустимого уровня приложенных нагрузок в условиях различного напряженного состояния с целью сохранения высокой магнитной защищенности изделий и конструкций в маломагнитном исполнении актуальной задачей является изучение влияния упругопластической деформации на изменение комплекса магнитных свойств сталей с деформационно-метастабильным аустенитом. В докладе рассматриваются особенности фазовых превращений при деформации стали 12Х18Н10Т растяжением и кручением с применением методов магнитного структурно-фазового анализа, в том числе метода магнитных шов Баркгаузена (МШБ).

Установлено, что вид предельной петли магнитного гистерезиса и величина среднеквадратичного значения сигнала МШБ резко меняются по достижению приложенными напряжениями величины 0,7…0,9 предела текучести (рис. 1, 2), а также после образования 12…15 % α′-мартенсита. Перемагничивание путем больших скачков Баркгаузена свидетельствует о значительной роли механизма магнитного гистерезиса, связанного с задержкой образования и роста зародышей перемагничивания при содержании в

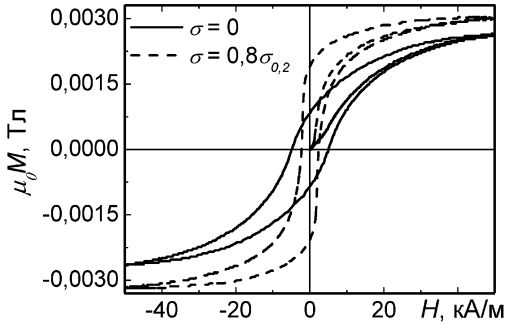


Рис. 1

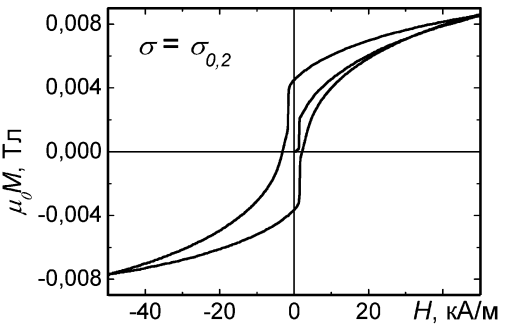


Рис. 2

стали 12Х18Н10Т до 12…15 % α′-мартенсита. Это может являться следствием анизотропии формы образующихся кристаллов α′-мартенсита, которые имеют линзовидную или реечную морфологию и обладают высокой дисперсностью. Кроме того, выделяются они строго вдоль определенных кристаллографических плоскостей сдвига и, возможно, перемагничиваются как однодоменные частицы. Выявленная стадийность эволюции петель магнитного гистерезиса и огибающих магнитных шумов Баркгаузена при растяжении и кручении образцов из стали 12Х18Н10Т позволяет диагностировать упругопластические деформации, при которых количество образующегося α′-мартенсита чрезвычайно мало.

Показано, что неравномерная локализация продуктов превращения при деформации кручением по сечению образца приводит к уширению пиков на полевых зависимостях дифференциальной магнитной проницаемости и сигнала МШБ.

6. **КОМПЛЕКСЫ СРЕДСТВ АНТИТЕРРОРА**

Ковалев А.В., Матвеев В.И., Студитский А.С., Федчишин В.Г.,
ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия

Анализ многих сложных задач по противодействию контрабанде и терроризму требует комплексного подхода для обеспечения надежности и эффективности практически реализуемой поисковой аппаратуры.

Существует целый арсенал физических методов и инженерно-технических средств, предназначенных для решения таких задач. Это прежде всего радиационные методы и средства, использующая ИК- и УФ-излучения аппаратура, а в последнее время – электромагнитное излучение терагерцового диапазона.

В докладе рассматриваются основные параметры разработанных инженерно-технических средств, таких как: тепловизионная и рентгено-телевизионная аппаратура, эндоскопы различного назначения, «антисвиды» и «антиснайперы», приборы для проверки подлинности документов, криминалистические комплекты и т.п. Приводятся примеры применения указанных средств.

Развитие и совершенствование элементной базы и аппаратуры в целом планируется осуществлять на основе достижений современной микро- и наноэлектроники.

Доклад сопровождается иллюстрациями.

Литература

1. **Неразрушающий контроль: справочник: в 8 т.** / под ред. В.В. Клюева. Т. 8. Кн. 2. Антитеррористическая и криминалистическая диагностика / А.В. Ковалев. М.: Машиностроение, 2005.

7. **КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ДЕТАЛЕЙ, ОБРАБОТАННЫХ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УПРОЧНЯЮЩЕ-ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ**

Палаев А.Г., НИЦУТ СЗТУ, Санкт-Петербург, Россия

Непрерывно возрастающие требования к качеству выпускаемых машин и механизмов связаны с необходимостью повышения их точности, надежности, долговечности, которые в значительной степени определяются эксплуатационными свойствами деталей и узлов. Эксплуатационные свойства деталей зависят от качества их сопрягающихся

поверхностей и поверхностного слоя, которые определяются геометрическими и физико-механическими свойствами, а также взаимным расположением микронеровностей на сопрягаемых поверхностях.

Шероховатость поверхностей в значительной степени определяет основные эксплуатационные свойства деталей и узлов: износостойкость, сопротивление усталости, надежность посадок, контактную жесткость и теплопроводность стыков сопряженных деталей, коррозионную стойкость, сопротивляемость эрозии при систематическом воздействии влажности и газов, герметичность соединений, отражающую и поглощающую способность поверхностей и др.

Важной характеристикой состояния поверхностного слоя являются остаточные напряжения.

Остаточные напряжении оказывают существенное влияние на прочность и долговечность деталей машин и конструкций: остаточные сжимающие напряжения (–), возникающие в поверхностном слое, повышают циклическую прочность деталей, так как они разгружают поверхностные слои от напряжений, вызванных нагрузками, и, наоборот, растягивающие остаточные напряжения (+) уменьшают прочность деталей вследствие повышения напряженности поверхностного слоя.

Повышение требований к качеству выпускаемой продукции влечет за собой необходимость совершенствования технологических процессов, средств и методов контроля.

Поэтому отделочная (финишная) обработка, изменяющая в широких пределах свойства поверхностного слоя, занимает важное место среди технологических способов, повышающих надежность деталей. Основные усилия разработчиков отделочных технологий сводятся к автоматизации и повышению производительности процесса уменьшения шероховатости поверхности до величины микронеровностей в десятые и сотые доли микрона. Наибольшее распространение имеют процессы многоступенчатого шлифования и полирования деталей. Однако, как все процессы резания, данные отделочные операции вызывают неоднородную пластическую деформацию, а также не устраняют физико-химические неоднородности от предыдущей обработки (точение, сварка).

В машиностроении и других отраслях промышленности широко применяются методы поверхностного пластического деформирования (ППД).

В докладе рассмотрены основные результаты исследований и разработок, выполненных в Научно-инновационном центре ультразвуковых технологий Северо-Западного технического университета. В НИЦУТ уже более 20 лет на постоянной основе проводится исследовательская и внедренческая работа в области ультразвуковой обработки металлов. Усовершенствуются имеющиеся и разрабатываются новые технологии ультразвуковой обработки и методы контроля.

Одним из наиболее эффективных методов ППД является ультразвуковая упрочняюще-финишная обработка металлов (УЗУФО). Предварительно деталь протачивается на станке нормального класса точности (токарном, строгальном и т.д.), затем на этом же станке с помощью малогабаритной ультразвуковой приставки проводится УЗУФО. При этом инструмент (индентор) с большой частотой (22 кГц) ударяет по микронеровностям обрабатываемой поверхности, что позволяет получить на поверхности малую шероховатость и упрочненный слой.

В процессе многолетней работы сотрудников НИЦУТ по совершенствованию режимов ультразвуковой обработки и методов контроля удалось достигнуть стабильных высоких результатов формирования структуры обработанного поверхностного слоя. По

обработке большинства марок сталей, а также большинства марок цветных металлов и их сплавов получены следующие результаты:

– шероховатость поверхности с исходной *Ra* 1,6 получаем *Ra* 0,05;

– повышение микротвердости на 50…60 % на глубину до 0,7 мм;

– преобразование остаточных напряжений из растягивающих (+5,7) в сжимающие (–53,2);

– увеличение опорной поверхности до 85 %;

– повышение усталостной прочности в 1,5…2 раза;

– повышение износостойкости в 2…2,5 раза;

– улучшение точностных параметров в 1,4 раза;

– повышение коррозионной стойкости.

Шероховатость поверхности замеряли на профилографе фирмы Taylor Hobson precision.

Остаточные напряжения замерялись на дифрактометре «ДРОН-3» с монохроматизированным Fe-излучением, с фокусировкой по Брэггу-Брентано на режимах: $U = 30$ кВ, $I = 20$ мА, щели 0,5 : 2 : 0,25.

Миркотвердость поверхности замеряли на микротвердомере MicroMet 5103 (фирма BUEHLER, США).

Методом УЗУФО возможно обрабатывать детали различной конструктивной формы: круглые, плоские, наружные, внутренние, торцевые, сферические, конические, галтели, канавки и т.д.

Применение технологии УЗУФО позволяет исключить: во многих случаях операцию шлифования, полностью ручные доводочные операции абразивными шкурками и пастами, в некоторых случаях – термообработку, внутрицеховую транспортировку деталей, а также экономить производственные площади, улучшить экологию и повысить культуру производства.

Анализ полученных результатов ультразвуковой упрочняюще-финишной обработки металлов, контроля качества основных параметров состояния поверхностного слоя обработанных изделий показывает, что широкое использование этой технологии в машиностроении, судостроении, авиакосмической, автотракторной и других отраслях промышленности обеспечить прорыв в интенсификации производственных процессов, в повышении качества и надежность изделий.

8. **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УПРУГИХ ВОЛН В ЗАДАЧАХ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ В ОБЛАСТИ МАЛОЦИКЛОВОЙ УСТАЛОСТИ**

Митенков Ф.М., Коротких Ю.Г., Панов В.А., Пичков С.Н.,
ОАО «ОКБМ Африкантов», Н. Новгород, Россия
Углов А.Л., Хлыбов А.А., НГТУ им. Р.Е. Алексеева, Н. Новгород, Россия

Проблема обеспечения надежной и безопасной работы металлических конструкций с каждым годом становится все более актуальной. Обеспечение гарантируемой безопасной эксплуатации ответственных объектов в течение заданного срока службы требует контролирования выработанного и остаточного ресурса материала наиболее нагружен-

ных зон конструктивных элементов по известной информации по физико-механическим характеристикам конкретного материала и по истории термомеханического эксплуатационного нагружения. В процессе эксплуатации необходим периодический контроль результатов расчета ресурсных характеристик материалов опасных зон конструктивных элементов системами диагностики, позволяющими оценивать текущее состояние материала конструкции. В основе таких систем используются методы неразрушающего контроля, в частности акустический метод, основанный на анализе закономерностей распространения упругих волн в материале исследуемой конструкции, эксплуатируемой в области малоцикловой усталости.

В докладе представлены результаты исследования влияния усталостной поврежденности материала при малоцикловой усталости на параметры объемных и поверхностных волн.

Исследования на цилиндрических образцах диаметром 12 мм из стали 08Х18Н10Т.

Режим нагружения – жесткий, симметричный цикл при заданных амплитудах пластических деформации:

– для образцов № 1 и № 2…0,3 %;

– для образца № 3…0,2 %;

– для образца № 4…0,1 %.

Для нагружения использовали машину МИУ–200.1 КТ

Контроль толщины рабочей части образца проводился с точностью 0,002 мм.

Для акустических измерений использовали ИВК «АСТРОН». Для излучения и приема упругих волн применяли следующие преобразователи:

– продольных волн с номинальной частотой 2,5 МГц;

– продольных волн с номинальной частотой 10 МГц;

– сдвиговых волн с номинальной частотой 5 МГц;

– рэлеевских волн с номинальной частотой 3 МГц.

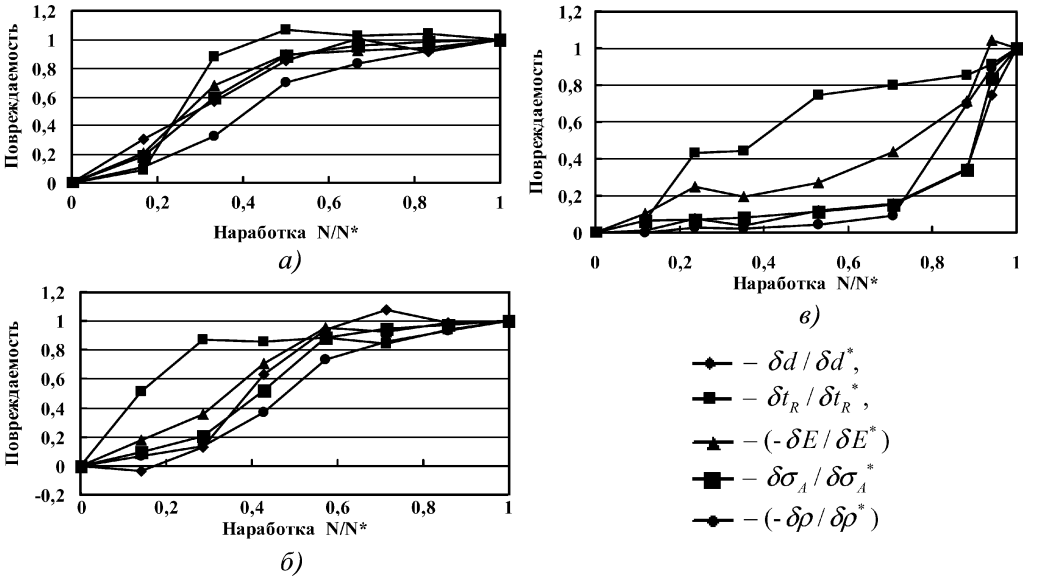
На рисунках представлено изменение относительных значений измеряемых параметров, приведенных к значению 1, соответствующему 100%-ной выработке ресурса от приведенного числа циклов N/N^*. Критической наработке N^* соответствует появление трещины порядка 1 мм.

На этих рисунках приводятся безразмерные параметры, определяемые следующим образом: $d = \frac{t_t}{t_l} - 1$, где t_t, t_l – задержки импульсов соответственно сдвиговой и продольной волн; t_R – задержка импульса поверхностной волны; E – модуль Юнга; σ_A – амплитуда напряжений; ρ – относительное уменьшение плотности.

Полученные результаты хорошо согласуются с закономерностями накопления усталостных повреждений: зарождения и развития системы микротрещин. В частности, в экспериментах наблюдаем уменьшение плотности материала до 4 % (в безразмерных осях кривая *5*). Наблюдается упрочнение материала (амплитуда напряжения увеличивается от 200 до 770 МПа для $\Delta\varepsilon = 0{,}3$).

Результаты экспериментов показали следующее:

1. Существует целый ряд акустических параметров, которые, с одной стороны, чувствительны к уровню усталостных повреждений, а с другой – не зависят от толщины материала в зоне измерений и, следовательно, могут быть использованы для реальных объектов.



Зависимость повреждений в образце от наработки:
а – Δε = 0,3 %; *б* – Δε = 0,2 %; *в* – Δε = 0,1 %

2. Сопоставление полученных экспериментальных кривых с метрологически обеспеченными погрешностями названных информативных параметров свидетельствует о корректности их использования в дальнейших исследованиях, имеющих целью построение инженерной методики оценки эксплуатационной поврежденности на основе акустических измерений. Метрологически обеспеченное предельное значение абсолютной погрешности определения задержек с помощью ИВК «АСТРОН» составляет ±2 нс; погрешность измерения затухания ±4 %, погрешность определения толщины ±2 мкм.

3. Приведение к безразмерным параметрам повреждений показало, что безразмерный параметр повреждений на основе задержки поверхностной волны меняется быстрее, чем безразмерные параметры на основе объемных волн. Это позволяет выбрать в качестве диагностического параметра поверхностную волну. Повреждаемость на основе объемных волн позволяет уточнить ресурс контролируемого узла.

4. Образец, выработавший 100 % своего ресурса (до появления макротрещины, определяемой современными средствами дефектоскопии, визуально порядка 1 мм), может служить в качестве образца свидетеля для настройки диагностической аппаратуры на базе прибора «АСТРОН». В центре образца 100%-ная выработка, а за пределами рабочей области состояние материала с наработкой близко к нулю.

Результаты исследований свидетельствуют о возможности построения диагностической системы для объектов, эксплуатируемых в области малоцикловой усталости.

9. **КОМПЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПРИ ЭКСПЕРТИЗЕ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ**

Лепихин А.М., Черняев А.П., ИВМ СО РАН, НПО «СибЭРА», Красноярск, Россия

В докладе рассматривается опыт комплексного использования ультразвукового, акустико-эмиссионного, магнитопорошкового, вихретокового, капиллярного и акустико-эмиссионного контроля при экспертизе опасных производственных объектов на территории Сибири и Крайнего Севера. НПО «СибЭРА» имеет лицензии Ростехнадзора с широким спектром видов деятельности по экспертизе опасных производственных объектов. Предприятие тесно сотрудничает с экспертными и ведущими проектными организациями Красноярского края и других регионов. Является членом координационного совета РИСКОМ, а также ассоциации «Ростехэкспертиза», «Металлургэксперт», АГЭЦ и др.

НПО «СибЭРА» аккредитована в Системе экспертизы промышленной безопасности, имеет аттестованную лабораторию неразрушающих методов контроля по ультразвуковому, капиллярному, вихретоковому, магнитопорошковому, рентгенографическому, акустико-эмиссионному и тепловому контролю. Основными заказчиками работ по экспертизе промышленной безопасности являются предприятия Красноярского и Забайкальского краев, Иркутской области, республики Хакассия. Специалистами НПО «СибЭРА» выполнено большое число экспертиз промышленной безопасности объектов различного назначения с оценкой технического состояния и остаточного ресурса технологического оборудования, трубопроводов, резервуаров, котлов, грузоподъемных механизмов, экскаваторов, зданий и сооружений.

Сложность оборудования и его значительные размеры предопределили широкое использование акустико-эмиссионного контроля для выявления зон потенциального разрушения и деградации металла. Он позволяет выявить «активные» зоны в нагруженных конструкциях и оценить уровень их опасности. Для дальнейшей идентификации активных зон используются ультразвуковой, радиационный, вихретоковый и магнитный методы контроля или их различные сочетания. В результате с высокой достоверностью определяются вид и тип дефекта, его геометрические размеры и ориентация. Это позволяет провести расчеты опасности выявленных дефектов и оценить возможность эксплуатации конструкций. Данный комплексный подход к применению методов неразрушающего контроля успешно используется при диагностировании технического состояния сосудов, аппаратов, котлов, конструкций грузоподъемных машин, большегрузных самосвалов и конструкций карьерных экскаваторов, эксплуатирующихся в климатических условиях Сибири и Крайнего Севера.

10. **ИТОГИ РАЗВИТИЯ МЕТОДА МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА В РОССИИ И ДРУГИХ СТРАНАХ**

Дубов А.А., ООО «Энергодиагностика», Москва, Россия

Магнитная память металла (МПМ) – это эффект магнитной памяти формы и деформации, обусловленный ориентированными внутренними напряжениями в изделиях и конструкциях из ферромагнитного материала.

Метод МПМ – метод неразрушающего контроля, основанный на анализе распределения собственных магнитных полей рассеяния (СМПР) на поверхности изделий, и предназначен для определения зон концентрации напряжений, дефектов, неоднородно-

стей структуры металла и сварных соединений. В рассматриваемом методе контроля используется последействие, которое проявляется в виде остаточной намагниченности металла изделий и сварных соединений, сформировавшейся в процессе их изготовления и охлаждения в слабом магнитном поле, как правило, в поле Земли, или в виде необратимого изменения намагниченности изделий в зонах концентрации напряжений и повреждений от рабочих нагрузок.

Развитие метода МПМ, представляющего собой новое направление в технической диагностике, идет широким фронтом и параллельно с решением следующих задач:

– проведение экспериментальных работ в лабораторных и промышленных условиях;

– теоретические исследования и разработка физических основ;

– разработка методик контроля трубопроводов, сосудов и различного оборудования в разных отраслях промышленности;

– стандартизация метода в России и в других странах;

– разработка, изготовление и сертификация приборов;

– разработка и издание учебного пособия, экзаменационных билетов и программы подготовки специалистов;

– аттестация специалистов по программе подготовки, согласованной с управлениями Ростехнадзора.

Внедрение метода МПМ и соответствующих приборов контроля в практику, как правило, осуществляется на добровольной основе, что является ярким подтверждением эффективности метода.

Интерес к методу обусловлен нерешенными проблемами, которые возникают на практике при контроле качества изделий машиностроения, при обеспечении надежности и оценке ресурса оборудования.

По состоянию на январь 2009 г. метод МПМ и соответствующие приборы контроля получили распространение в большей или меньшей степени в 26 странах мира. В НОАП НК ООО «Энергодиагностика» по методу МПМ подготовлено:

– 1500 специалистов в России;

– 300 специалистов в Китае;

– 70 специалистов в Польше;

– более 60 специалистов из других стран (Австралия, Аргентина, Беларусь, Болгария, Германия, Израиль, Индия, Ирак, Иран, Канада, Казахстан, Латвия, Литва, Македония, Сербия, Черногория, Чехия, Молдова, Монголия, Украина, Южная Корея).

В России метод МПМ и приборы контроля ежегодно используются более чем на 1000 предприятиях.

Разработано более 40 руководящих документов и методик контроля различного оборудования. Значительная часть из них согласована с отраслевыми институтами, Ростехнадзором и акционерными обществами (ОАО «Газпром», РАО «ЕЭС России», АК «Транснефть» и др.).

Интерес специалистов России и других стран из различных отраслей промышленности к принципиально новому магнитному методу неразрушающего контроля (НК) неуклонно растет. Впервые на конференции мирового уровня (17-я Международная конференция по НК, Шанхай, 25–28 октября 2008 г.) в материалах конференции и в работе технической сессии в разделе «Магнитные методы НК» было уделено большое внимание методу магнитной памяти металла. Методу МПМ была посвящена работа отдельной технической сессии. Было сделано более 20 докладов по этой теме.

С 1994 г. по 2008 г. выпущено 45 документов Международного института сварки (МИС) с положительными резолюциями по методу магнитной памяти металла. В январе 2006 г. результатом голосования 18 стран-членов МИС и более 10 стран комитета ISO

стало утверждение международного стандарта ISO 24497-1:2007(E), 24497-2:2007(E), 24497-3:2007(E) по методу магнитной памяти металла, а в ноябре 2007 г. состоялась официальная его публикация. Таким образом, была завершена длительная, кропотливая 14-летняя работа по продвижению новой технологии НК на уровень международного стандарта.

11. **СОВРЕМЕННЫЕ СРЕДСТВА ОПЕРАТИВНОЙ МЕТАЛЛОГРАФИИ ПОЛНОГО ЦИКЛА**

Филинов М.В., Маслов А.А., Фурсов А.С.
ЗАО «НИИИН МНПО «СПЕКТР», Москва, Россия

В докладе рассмотрены функциональные возможности и опыт применения ряда портативных металлографических микроскопов МПМ второго поколения и аппаратно-программных комплексов СПЕКТР МЕТ разработки и производства ЗАО «НИИИН МНПО «СПЕКТР» для оперативной металлографии объектов ответственного назначения и техногенно-опасных объектов в процессе эксплуатации и при определении остаточного ресурса.

В настоящее время комплексы дополнены рядом специально разработанных вспомогательных приспособлений для обеспечения возможности проведения контроля крупногабаритных объектов в цеховых условиях, а также возможности контроля малых образцов, подготовленных классическим способом пробоподготовки.

Создана и запущена в производство собственная портативная шлиф-машина ШЛИФ-2У.

В настоящее время комплексы СПЕКТР МЕТ позволяют проводить полный цикл металлографического контроля непосредственно на объекте. При этом отпадает необходимость в дорогостоящем импортном оборудовании, а также частично и в более дорогих стационарных микроскопах, что важно в условиях экономического кризиса.

Рассмотрены измерительные функции комплексов СПЕКТР МЕТ при анализе состояния и дефектов структуры металла, дефектов поверхности, а также при анализе поверхностных коррозионных повреждений типа питтинговой коррозии. Показана роль восстановления изображений для повышения точности определения количественных характеристик структуры металла, приведены примеры влияния восстановления изображений на погрешность измерений. Программный пакет SPECTR MET дополнен модулем гранулометрии.

Рассмотрено метрологическое обеспечение комплексов СПЕКТР МЕТ; в настоящее время комплексы СПЕКТР МЕТ полностью прошли испытания на утверждение типа средств измерения.

12. **ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ МУЛЬТИПЛЕКСИРОВАННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА**

Голубятников И.В., Нащекин А.С., Шатерников В.Е., МГУПИ, Москва, Россия

При эксплуатации мониторинговых систем диагностики сложных технических объектов на электронную часть систем оказывают воздействие многие факторы, такие как: радиационное и электромагнитное излучение, вибрации, влажность, температура и дру-

гие природные факторы. Это приводит к серьезным ошибкам и отказам в работе отдельных элементов систем, особенно опто-электронных и волоконно-оптических компонентов. Для повышения надежности мультиплексированных НИС с волоконно-оптическими датчиками и каналами передачи информации в них вводится дополнительный канал с интегрально-оптическим разветвителем со ступенчатым делением мощности. Этот канал используется для контроля и коррекции измерения мощности излучателей различного вида – световых, лазерных, ИК-излучателей и др.

Для повышения надежности устройств параллельного сбора информации и достоверности полученной информации вводится периодичное тестирование путем принудительного перебора всех возможных кодовых комбинаций преобразователя в отключенном режиме при снятии датчиков с объекта контроля. В случае использования устройств последовательного сбора информации вместо АЦП применяется функциональный АЦП, в состав которого входит нелинейный элемент с характеристикой, обратной по отношению к характеристике преобразователя.

В докладе рассматривается использование интеллектуального микропроцессора в устройстве сбора информации для коррекции погрешностей от изменения мощности излучателей путем статистической обработки данных.

При этом вводится временная избыточность в режим работы НИС. Приводятся схемы контроля обрыва оптического волокна в волоконно-оптическом канале передачи или выхода из строя оптоволоконных датчиков по шумам оборванного оптического волокна и собственным шумам фотоприемника и функционального АЦП. Предлагаемые методы автокоррекции эффективно повышают надежность НИС, так как они позволяют обнаружить и скорректировать снижение мощности источника излучения, выявить несоответствие уровня оптического сигнала на входе фотоприемника логическому состоянию датчиков, производить коррекцию сигналов за время, в течение которого он изменяется не более чем на величину, соответствующую половине младшего разряда АЦП.

13. **ДИАГНОСТИКА ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ, ПРИМЕНЯЕМОЙ НА ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОБЪЕКТАХ**

Погодин В.К., Верхозин Н.А., Кузнецов К.А., ОАО «ИркутскНИИхиммаш»,
Иркутск, Россия

В обеспечении надежности и безопасной эксплуатации технологического оборудования опасных производственных объектов важную роль играет состояние трубопроводной арматуры (ТА). Известно, что на большинстве предприятий химических и нефтеперерабатывающих производств ТА эксплуатируется в течение 20–40 лет, а некоторая, особенно в производствах высокого и сверхвысокого давления, более 50 лет.

В настоящее время существующими нормативными документами предусмотрено проведение диагностики промышленной ТА с целью определения ее технического состояния на следующих жизненных циклах:

1) при поступлении арматуры на предприятие с заводов-изготовителей (входной контроль).

2) при эксплуатации и ремонте.

Входной контроль арматуры, организованный промышленными предприятиями, включает в себя проверку комплектности поставки, наличие эксплуатационной документации и визуальный контроль. Предполагается, что сведения о техническом состоянии ТА содержатся в эксплуатационной документации. Однако, как показали работы по входному контролю, ТА сопровождается документацией, недостаточной даже для оцен-

ки конструктивного ее исполнения. Область применения ТА, указанная в технических условиях заводом-изготовителем, требует ее проверки и установления возможности эксплуатации в конкретных условиях.

В связи с этим ОАО «ИркутскНИИхиммаш» разработана «Инструкция входного контроля трубопроводной арматуры».

Основными этапами входного контроля арматуры являются:

– входной контроль на заводе-изготовителе;

– входной контроль на складе;

– входной контроль в ремонтной службе;

– оформление документов по результатам входного контроля на заводе-изготовителе, складе, в ремонтной службе.

Одним из условий обеспечения безопасной эксплуатации ТА является своевременная ее диагностика. Диагностику ТА, как правило, совмещают со сроками проведения ревизии технологических установок и трубопроводов с полным выводом из работы всего оборудования установки или трубопровода.

Нормативная база для оценки технического состояния должна содержать перечень средств контроля, методики по их применению, критерии оценки состояния ТА, инструкции по действиям обслуживающего персонала в тех или иных ситуациях.

Для комплексной оценки состояния арматуры специалисты ОАО «ИркутскНИИхиммаш» разработали руководящие документы (РД): «Техническое диагностирование (освидетельствование), эксплуатация и ремонт трубопроводной арматуры»:

1) для арматуры ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», изготовленной за рубежом и эксплуатируемой при давлении 32,5 МПа [12];

2) для отечественной и импортной арматуры ОАО «Ангарская нефтехимическая компания», эксплуатируемой при давлении до 9,81 МПа [11], от 9,81 до 98,1 МПа [4];

3) для отечественной и импортной арматуры ОАО «Ангарский завод полимеров», эксплуатируемой при давлении до 250 МПа [10].

РД определяют порядок организации работ и требования к выполнению диагностирования и ремонта ТА с сохранением взаимозаменяемости изготовленных новых деталей, документирования и при необходимости паспортизации, а также правильной эксплуатации.

Опыт применения таких документов показал необходимость их разработки для конкретных типов производств, отличающихся друг от друга конструктивным оформлением оборудования и трубопроводных обвязок, параметрами эксплуатации и возможностями проведения ремонта.

Кроме этого для решения вопросов, связанных с эксплуатацией и диагностированием ТА, ОАО «ИркутскНИИхиммаш» разработаны:

– инструкции по эксплуатации арматуры;

– методические указания по проведению технического диагностирования ТА;

– методика проведения приемосдаточных испытаний ТА;

– методика технического диагностирования предохранительных клапанов на месте их эксплуатации.

Качество ремонта ТА невозможно обеспечить без проведения ее диагностики. Основной задачей диагностики является определение технического состояния ТА, поиск и обнаружение дефектов и несоответствий. На основании результатов исследований причин отказов в ОАО «ИркутскНИИхиммаш» разработаны технологические процессы на ремонт задвижек, предохранительных клапанов, шаровых кранов, запорных клапанов, дисковых поворотных затворов, обратных затворов.Они разработаны с целью улучшения качества ремонта арматуры на оборудовании, имеющемся в распоряжении арматурного участка ремонтно-механического цеха НПЗ ОАО «АНХК» и ОАО «ИркутскНИИхиммаш».

Для организации комплексного контроля за ТА и ее техническим состоянием при эксплуатации, ремонте и хранении ОАО «ИркутскНИИхиммаш» разработал структуру базы данных «Учет арматуры при эксплуатации, ремонте и хранении». База данных позволяет вести историю эксплуатации каждой единицы ТА и хранить всю необходимую информацию, связанную с входным контролем, монтажом, эксплуатацией, техническим диагностированием, демонтажом, ревизией, ремонтом, хранением и др.

К ТА, эксплуатируемой на опасных производственных объектах, в ряде европейских стран и США предъявляются жесткие требования к надежности и герметичности в аварийных ситуациях при воздействии открытого пламени для исключения или максимально возможного уменьшения утечек транспортируемых сред.

В настоящее время в России и за рубежом действует ряд стандартов, регламентирующих режимы проведения испытаний (положение штока вертикальное или горизонтальное, температура пламени, длительность испытаний, рабочая среда, давление), значения допустимых протечек. Среди них: ANSI/API Standard 607 (ISO 10497-5:2004), OCMA FSV.1, Exxon BP3-14-1, FM 6033, СТ ЦКБА 001-2003 .

В соответствии с проектом отечественного технического регламента «О безопасности трубопроводной арматуры», прошедшим общественные слушания в марте 2008 г., пожарная безопасность ТА на стадии проектирования должна обеспечиваться:

– применением конструктивных решений и пожаростойких материалов,

– герметичностью относительно внешней среды;

– проведением специальных испытаний на огнестойкость.

Для выполнения требований пожарной безопасности применительно к ТА ОАО «ИркутскНИИхиммаш» создал и применяет специализированный стенд ИНХМ-10СтА для проведения испытаний ТА на огнестойкость согласно стандартами API-607, СТ ЦКБА 001-2003 и СТО Газпром 2-4.1-212-2008. Стенд используется при следующих параметрах: номинальный диаметр – до 300 мм, рабочее давление – до 10 МПа, масса арматуры – до 500 кг, температура пламени – до 1000 ºС.

14. **ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЯ И ПОТОКА И ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ П-ОБРАЗНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВА КОНТРОЛИРУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ**

Костин В.Н., Лукиных О.Н., Смородинский Я.Г., Костин К.В.,
Институт физики металлов УрО РАН, Екатеринбург, Россия

В докладе представлен материал по 3D-моделированию методом конечных элементов поля и намагниченности в локально намагничиваемых массивных пластинах и даются рекомендации по оптимизации формы и размеров приставных преобразователей.

В магнитной структуроскопии давно и широко используются приборы с приставными намагничивающими устройствами. Наиболее распространены приставные П-образные электромагниты. В последние годы в Институте физики металлов УрО РАН разработаны методы и средства (магнитные мультитестеры ММТ, программно-аппаратная система СИМТЕСТ) для определения магнитных свойств вещества контролируемых объектов при их локальном намагничивании, в том числе П-образными электромагнитами. Поскольку определение магнитных свойств вещества предполагает измерение магнитного потока (магнитной индукции) и внутреннего магнитного поля в контролируемом объекте, то исследование топологии поля и индукции необходимо для правильного выбора конструкции и размеров намагничивающего устройства и для определения оптимальных мест расположения первичных преобразователей поля и потока.

Таким образом, целью данной работы было:

– определение топологии поля и магнитной индукции в массивных локально намагничиваемых пластинах, имеющих различные геометрические размеры и магнитные свойства;

– определение характера и количественная оценка мешающего измерениям бокового рассеяния магнитного потока, т.е. доли магнитного потока, выходящего за линию, соединяющую краю полюсов электромагнита;

– выработка рекомендаций по созданию намагничивающих устройств, обладающих пониженным боковым рассеянием и обеспечивающих промагничивание изделий на заданную глубину.

Основным исследуемым параметром модельных расчетов являлась магнитная индукция (плотность потока) в сечениях, указанных на рис. 1.

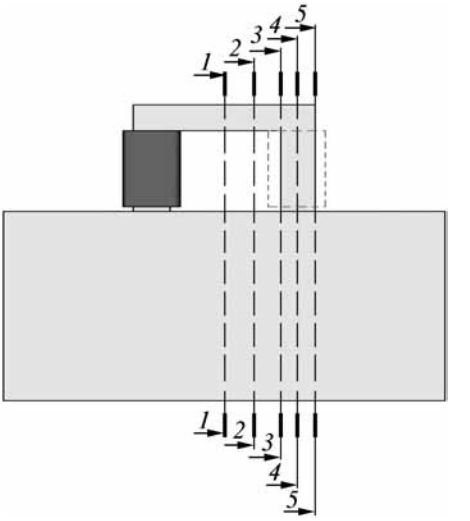


Рис. 1

Для примера на рис. 2 приведено распределение плотности магнитного потока в плоскости 4 при увеличении ширины пластины от 28 мм (что, равно ширине полюсов электромагнита) до 228 мм. Видно, что при одних и тех же значениях магнитодвижущей силы увеличение ширины пластины приводит к появлению и увеличению бокового рассеяния, а также к уменьшению глубины проникновения магнитного потока.

Для количественного определения бокового рассеяния в секущих плоскостях 1-5 определялась процентная доля магнитного потока, выходящего за профиль полюсов электромагнита. Часть полученных результатов представлена в табл. 1 и 2.

Анализ полученных результатов показывает, что:

– пространственное распределение поля и индукции, создаваемое в массивных ферромагнетиках приставным П-образным электромагнитом, слабо зависит от магнитных свойств намагничиваемых объектов;

1. Пространственное распределение бокового рассеяния магнитного потока в пластинах различной ширины из материалов с различающимися магнитными свойствами при сечении полюсов электромагнита 25×28 мм

Ширина пластины, мм	Материал пластины	Боковое рассеяние, %				
		Сечение				
		1	2	3	4	5
56	Динамная сталь	52	55	37	25	13
	Ст3	54	54	36	23	13
	Сталь 20	51	55	42	25	9
128	Динамная сталь	61	43	26	24	17
	Ст3	61	51	30	26	14
	Сталь 20	56	50	30	25	16

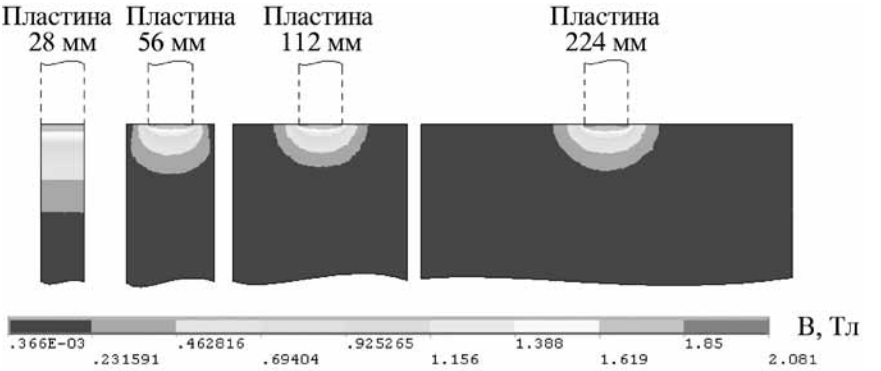


Рис. 2

2. Пространственное распределение бокового рассеяния магнитного потока в пластине из динамной стали шириной 128 мм при вариации межполюсного расстояния электромагнита с сечением полюсов 10×28 мм

Межполюсное расстояние, мм	Боковое рассеяние потока, %				
	Сечение				
	1	2	3	4	5
75	57	52	17	18	12
50	51	38	11	16	13
35	29	27	13	17	14

– распределение магнитного поля и магнитного потока по глубине намагничиваемого объекта определяется геометрическими размерами и формой приставного электромагнита, причем увеличение толщины полюса приставного электромагнита приводит к увеличению глубины промагничивания;

– уменьшение бокового рассеяния магнитного потока наиболее эффективно достигается путем уменьшения расстояния между полюсами П-образного электромагнита.

15. **НАДЗЕМНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ГАЗОПРОВОДОВ**

Коннов Вл. Вл., ЗАО НПЦ «Молния», Москва, Россия

Доклад посвящен вопросам диагностирования участков магистральных газопроводов, недоступных в настоящее время для обследования средствами внутритрубной дефектоскопии, главным образом газопроводов-отводов и перемычек. Диагностирование осуществляется с применением комплекса методов и средств неразрушающего контроля.

Разработанная технология надземного технического диагностирования газопроводов предусматривает в основном следующее. Сначала бесконтактно определяют повреждения изоляционного покрытия, глубину залегания газопровода и его положение, проверяют эффективность электрохимической защиты и выявляют коррозионно-опасные участки и участки с аномальным механическим напряжением в металле. Создан и опробован совместно с ЗАО «ВНИИСТ-ПОИСК» новый комплекс надземного диагностирования трубопроводов «М-1», позволяющий одновременно производить электрометрические, магнитометрические и другие измерения, осуществлять их GPS-привязку и благо-

даря этому повышать эффективность выявления коррозионно-опасных зон и зон концентрации механических напряжений.

По результатам этих работ в наиболее опасных зонах производят шурфование и детальное обследование состояния изоляции и металла газопровода, а также сварных соединений в этих местах методами неразрушающего контроля с определением физико-механических свойств труб.

Большой объем работ по диагностированию газопроводов приходится на оценку технического состояния труб в ходе капитального ремонта изоляционного покрытия (переизоляции). В газовой промышленности были инициированы работы по созданию автоматизированных сканеров для 100%-ного контроля тела трубы после снятия изоляции. С этой целью использованы автоматические сканирующие магнитные дефектоскопы.

Для количественной оценки механических напряжений в трубе в полевых условиях применялся портативный рентгеновский дифрактометр типа «Stressrad». Предлагаем использовать метод рентгеновской дифрактометрии в качестве основного для оценки напряженно-деформированного состояния трубопроводов в полевых условиях, так как он дает максимально достоверные сведения о напряжениях в поверхностном слое металла.

По результатам комплексного технического диагностирования разрабатывают мероприятия, обеспечивающие безопасную эксплуатацию газопроводов, и назначают срок проведения следующего диагностирования. Как подтверждается практикой последних десятилетий, это позволяет обеспечить эксплуатацию газопроводов по их техническому состоянию. Чтобы повысить надежность оценки и прогноза технического состояния газопроводов целесообразно проводить там, где это возможно, одновременно внутритрубную дефектоскопию и наземное диагностирование.

В связи с естественным старением и постепенным выходом трубопроводов за проектные сроки эксплуатации требования к надежности диагностирования, оценке остаточного ресурса и рисков будут неизбежно повышаться.

Тематика последних конференций, деловых встреч, в том числе с участием иностранных фирм, и других подобных мероприятий свидетельствует об активных работах по этим направлениям газотранспортных компаний, диагностических организаций, ученых и специалистов.

Получение новых эффективных решений в этой области требует проведения фундаментальных исследований по физике твердого тела, материаловедению, изучения физических явлений, которые позволят с помощью неразрушающих и диагностических методов обеспечить целостность и безопасную эксплуатацию трубопроводов.

16. **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ В ОЦЕНКЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО СОСТОЯНИЯ ТОКОСЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

Ли В.Н., ГОУ ВПО «ДВГУПС», Хабаровск, Россия

В докладе представлен материал результатов теоретических и экспериментальных исследований возможностей применения акустических методов в диагностировании состояния элементов контактной сети и токоприемников электроподвижного состава электрифицированных железных дорог.

Причины отказов устройств контактной сети электрифицированного железнодорожного транспорта связывают с несовершенством конструкций деталей, их монтажа и эксплуатации (45 %), старением устройств (24,5 %), обусловленных в значительной степени недостаточностью применения средств диагностики их состояния или вообще их

отсутствием. Наиболее ответственными и чаще повреждаемыми являются не только провода и тросы контактной сети (в среднем 27 %), но и токопроводящие зажимы и другие детали (12 …18 %).

Основные задачи обеспечения надежной работы устройств контактной сети – установление причин возникновения отказов, изучение влияния внешних и внутренних факторов, определение критериев оценки их состояния, разработка методов диагностирования.

Выбор материала для какой-либо определенной цели делают на основе его механико-технологических, физических и химических свойств. Эти свойства необходимо контролировать как в процессе изготовления, так и в ходе эксплуатации для выявления недопустимых изменений, а в случае повреждения изделия – определять причину.

Особое внимание следует уделять неразрушающим видам контроля, имеющим первостепенное значение для обеспечения надежности и долговечности различных конструкций.

Успешный опыт применения ультразвуковой дефектоскопии в различных отраслях промышленности и исследования, проведенные ГО ВПО «ДВГУПС», показали, что этот метод может быть эффективно использован для контроля большинства элементов и устройств контактной сети, например медных контактных проводов, бронзовых токопроводящих зажимов, в токоприемниках электроподвижного состава – угольных вставок полозов токоприемников.

Предложено введение в классификацию видов износа контактного провода понятия «тепловой» износ, характеризующий процесс термического разупрочнения (изнашивания) проводов в некотором объеме под действием тепловых импульсов. Разупрочненный объем соответствует сечению провода, потерянному в результате механического трения или электрической эрозии.

Определение степени теплового износа контактного провода возможно производить по его акустическим характеристикам.

Экспериментальные исследования акустических и прочностных характеристик провода показали, что параметр $t_{УЗ}$ малоинформативен вследствие слабой его зависимости от режимов нагрева (при вариации температур от 20 до 250 °С изменения $t_{УЗ}$ для выбранной марки провода не превышают 0,1 мкс).

Более чувствительным к нагреву оказался коэффициент ослабления ультразвуковых (УЗ) колебаний. Для исключения ряда методических и систематических погрешностей в работе использовался метод сравнения.

Измерения коэффициента ослабления УЗ-колебаний позволяют (при использовании частот 5 и 10 мГц) достаточно надежно оценивать как «тепловую» предысторию, так и прочностной ресурс провода. Предпочтительней является частота 10 мГц.

Решая проблему неразрушающего контроля и продления срока службы контактного провода, необходимо учитывать второй контакт – вставку полоза токоприемника. Процессы, происходящие в области контакта, и свойства самой вставки непосредственно влияют на прочностные свойства провода.

Исследования показали: во время нагрева вставки происходит изменение фазового строения в тонкой области контакта, которое приводит составляющие вставки в равновесное состояние. Но это происходит не у всех вставок, что свидетельствует об их изначально различных исходной структуре и свойствах.

Экспериментально установлена связь между свойствами материала вставки и характером акустического сигнала. Данный факт позволил разработать методику выбраковки и сортировки вставок по качеству изготовления методом ультразвукового зондирования.

Высокая аварийность контактной сети по причине некачественных зажимов делает очевидным необходимость внедрения входного контроля токопроводящих зажимов и их диагностики в период эксплуатации неразрушающими методами.

В результате проведенных исследований для оценки дефектности структуры зажимов рекомендован акустический метод – метод вынужденных колебаний, реализуемый на базе цифрового анализатора спектра с применением преобразователей с рабочей полосой частот 1…40 кГц. Внедрение метода осуществлено в виде измерительного комплекса ВКЗ-1 на Забайкальской железной дороге.

17. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ПРИ ТЕХНИЧЕСКОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ОБОРУДОВАНИЯ ТЭС ПОСЛЕ ВЫРАБОТКИ НОРМАТИВНОГО СРОКА СЛУЖБЫ

Гринь Е.А., ОАО «Всероссийский теплотехнический научно-исследовательский институт» (ВТИ)», Москва, Россия

В соответствии с положениями действующей в системе промышленной безопасности нормативной документации продление срока эксплуатации оборудования, отработавшего нормативный срок, должно подтверждаться расчетом его остаточного ресурса. В энергетике понятие «ресурс» распространяется в первую очередь на оборудование, работающее в условиях существенно повышенных температур (условиях ползучести), когда результатом проявления температурно-временных факторов является потеря металлом способности выдерживать рабочие нагрузки. Расчетная оценка остаточного ресурса такого оборудования после исчерпания расчетного (или паркового) ресурса является объективно необходимой.

В частности, для паропроводных систем ресурс на стадии образования макродефекта (трещины) определяется индивидуальным ресурсом гнутых элементов (гибов), который рекомендуется определять из соотношения:

$$\lg \tau = \frac{1}{T}\sum_{i=0}^{6} A_i (n\sigma)^i + 2\lg T - a\,, \qquad (1)$$

где τ – индивидуальный ресурс; T – используемая в расчете температура (К); n – коэффициент запаса прочности; a – постоянная, зависящая от марки стали.

Полином шестой степени (1) представляет собой модифицированную функцию параметра Ларсона–Миллера. Коэффициенты полинома были получены для используемых в энергетике паропроводных сталей применительно к исходному состоянию и для металла с различной наработкой. Напряжения σ, входящие в уравнение (1), вычисляются традиционным методом.

Применительно к оценке индивидуального ресурса роторов паровых турбин по стадии зарождения макродефекта (трещины) в их высокотемпературных зонах получило распространение близкое по смыслу к (1), соотношение

$$\tau = \tau_{\text{ф}} \Big/ \sum_{i=1}^{k} \tau_{r_i} \cdot 10^{\left[\left(P_{\text{д.п}} \cdot 10^3 / T_i\right) + 2\lg T_i - 25\right]}\,, \qquad (2)$$

где k – количество лет эксплуатации; τ_{r_i} – наработка в i-м году (ч); T_i – среднегодовая температура (К) металла ротора по i-му году в наиболее нагруженной зоне (является функцией температуры перед цилиндром); $\tau_{\text{ф}}$ – фактическая наработка; $P_{\text{д.п}}$ – температурно-временной параметр для расчетной зоны ротора.

Остаточный ресурс $\tau_{ост}$ эксплуатируемого оборудования определяется как разность между индивидуальным ресурсом τ и фактической наработкой $\tau_ф$ на время обследования:

$$\tau_{ост} = \tau - \tau_ф. \qquad (3)$$

Если расчетная оценка показывает исчерпание индивидуального ресурса какого-либо элемента, в то время как по результатам дефектоскопического контроля и металлографического анализа его состояние удовлетворяет необходимым требованиям, предлагается использовать подход, заключающийся в оценке долговечности деталей на стадии развития макроповрежденности или, иными словами, в оценке живучести.

В основу анализа, базирующегося на подходах механики разрушения, положены следующие соображения.

- Предполагается, что в конструкции (в наиболее нагруженной зоне) уже присутствует на момент проведения контроля зародившийся при эксплуатации трещиноподобный дефект, основной размер которого a принимают равным некоторой характерной величине. Исходя из соображений консервативного подхода и с учетом специфики повреждаемости рассчитываемого элемента устанавливают (априори) вид и конфигурацию трещиноподобного дефекта.
- Выполняют расчет напряжений по толщине стенки элемента, нормальных направлению траектории предполагаемого маршрута трещины x. Аппроксимируют поле напряжений вдоль указанного направления σ_x подходящей функцией: постоянной величиной, линейной, квадратичной или другой зависимостью.
- Рассчитывают характерный параметр механики разрушения (обозначим): коэффициент интенсивности напряжений **К** или **J**-интеграл: $G_x^* = F(\sigma_x, a, \Phi)$, где Φ – функция вида и конфигурации трещины.
- Из условия равенства своему предельно допустимому значению G_c^* определяют величину предельно допустимого размера трещины: $G_x^* = F(\sigma_x, a, \Phi) = G_c^* \Rightarrow a_c$.
- Для конкретного материала и условий эксплуатации должна быть использована экспериментальная зависимость скорости развития трещины v_a от параметра G^*: $v_a = f(G_x^*)$.
- Интегрированием зависимости скорости развития трещины от характерного параметра G_x^* по параметру размера трещины определяют время ее распространения τ_s от исходного до предельно допустимого значения: $\tau_s = \int_{a_o}^{a_c} \frac{da}{f(G_x^*)}$.

Рассчитанное время (или, как вариант, циклическая наработка N) представляет собой долговечность изделия на стадии развития макродефекта (т.е. живучесть) и рассматривается (в консервативном приближении) как допустимый период безопасной эксплуатации конструкции до очередного обследования. После истечения назначенного срока при положительных результатах очередного контроля (обследования) данный элемент оборудования может вновь быть допущен к эксплуатации на тот же или скорректированный срок.

18. **КОНТРОЛЬ СВАРНЫХ ШВОВ ТОЛСТОСТЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПОМОЩЬЮ МНОГОЭЛЕМЕНТНОГО НАКЛОННОГО ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ**

Ткаченко А.А., НИИНК АО «ИНТРОСКОП», Кишинев, Молдова

В докладе исследованы методические вопросы автоматизированного ультразвукового контроля (УЗ) сварного шва плоскопараллельных объектов контроля (ОК) с толщиной стенки 20…50 мм с помощью разработанного многоэлементного наклонного иммерсионного пьезоэлектрического преобразователя (ПЭП) и результаты испытания макета системы с таким ПЭП. Приведен анализ полученных экспериментальных результатов.

Для контроля плоскопараллельных изделий разработан многоэлементный преобразователь, составленный из двух соединенных между собой линеек, каждая из которых состоит из множества призм из оргстекла, имеющих одну общую рабочую плоскость. На каждой призме ПЭП установлено по одному пьезоэлементу (ПЭ). Разработанный преобразователь позволяет реализовать электронное сканирование металла сварного шва ОК для его контроля в необходимом объеме при линейном перемещении ПЭП вдоль шва.

Исследование возможности контроля сварного шва толстостенного изделия проводилось на образце, толщиной 40 мм, с помощью изготовленного 8-элементного ПЭП, состоящего из двух линеек по 4 призмы. Каждый ПЭ, установленный на призмах, имеет размер 4×18 мм и может работать как обычный наклонный ПЭП в совмещенном режиме. Пара ближайших друг к другу ПЭ, расположенных в разных линейках, может работать в раздельно-совмещенном (Р/С) режиме. Пара ПЭ, расположенных рядом на одной линейке, работает в режиме тандем. В режиме тандем может работать любая пара ПЭ, кроме пары, работающей в Р/С-режиме. При контроле толстостенного сварного шва обычно используют эхосигналы из зоны шва прямые и однократно-отраженные от донной поверхности стенки ОК.

В каждом такте работы многоканального дефектоскопа ультразвуковой импульс излучают только одним ПЭ, а прием эхосигналов осуществляют всеми ПЭ. Таким образом, в одном такте контроля можно реализовать все режимы работы элементов ПЭП и, выполнив обработку полученной информации по соответствующей программе, с высокой степенью достоверности получить информацию о состоянии сварного шва в каждом такте. Толщину иммерсионного слоя воды между излучающей рабочей поверхностью ПЭП и поверхностью ОК целесообразно установить равной 20…30 мм, но при необходимости она может быть уменьшена до 8…10 мм.

Настройка дефектоскопа сводится к изменению угла наклона рабочей поверхности ПЭП относительно поверхности ОК. При настройке достаточно использовать любой ПЭ в совмещенном режиме. При правильной настройке слой воды имеет клинообразный вид (угол клина 8…10°), что способствует «отлипанию» пузырьков воздуха, собирающихся на поверхности призмы. Особенно это актуально, когда акустический блок расположен над поверхностью ОК. Ширина зоны прозвучивания в металле ОК по длинной стороне ПЭ равна 13 мм и неизменна по глубине до 200 мм, а ширина зоны прозвучивания в металле по короткой стороне ПЭ – расширяется по глубине: на глубине 30 мм равна 12 мм, на глубине 60 мм – 16 мм, на глубине 90 мм – 22 мм. В корпусе ПЭП для каждого ПЭ применено согласующее устройство, позволяющее использовать соединительные радиочастотные кабели длиной от 2 до 32 м. Оптимальная длина кабеля 8…10 м.

Стенки толстостенных труб большого диаметра (∅ 1020…1420 мм) с определенным допуском можно отнести к плоскопараллельным ОК. Для контроля металла сварного шва труб, диаметр которых менее 1000 мм, необходимо учитывать влияние кривизны

поверхности ОК. В этом случае рабочая поверхность призм, составляющих обе линейки преобразователя, должна быть соответственно вогнутой. Толщина стенки труб меньшего диаметра обычно менее 20 мм. В этом случае используется несколько зеркальных отражений зондирующего импульса от поверхностей стенки. В случае, когда размер сечения зондирующего пучка в направлении длинной стороны ПЭ больше толщины стенки трубы, возникает волноводный эффект (наблюдается множество эхосигналов). Применение ПЭП нового типа для автоматизированного контроля сварного шва труб заменяет в установках громоздкие акустические системы с множеством одиночных наклонных ПЭП, систем механических и электрических приводов и иммерсионных ванн.

19. **МАГНИТНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ КОНТРОЛЯ СТРУКТУРЫ И МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАССОВЫХ ПАРТИЙ СТАЛЬНЫХ И ЧУГУННЫХ ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ И МЕТАЛЛУРГИИ**

Сандомирский С.Г., ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси», Минск, Беларусь

В докладе проанализированы и обобщены принципы магнитного контроля механических свойств изделий в движении. Развиты способы повышения чувствительности контроля. Приведены результаты использования магнитного неразрушающего контроля деталей Минского моторного завода и Минского завода отопительного оборудования.

Требуемый уровень механических свойств стальных и чугунных изделий достигают специальными режимами легирования и термообработки. Возможные отклонения этих режимов от заданных приводят к недопустимым изменениям механических свойств, требуют контроля всей выпускаемой продукции. Индивидуальный характер применения изделий в ответственных узлах обусловливает необходимость контроля свойств каждого изделия. Многие детали машин и двигателей многократно используются в различных ответственных узлах и выпускаются массовыми партиями. Это требует высокой производительности контроля. Такой контроль может быть осуществлен только неразрушающими методами, наиболее перспективный из которых магнитный. Его основой является наличие устойчивых связей между механическими и магнитными свойствами сталей и чугунов [1]. При контроле массовых партий изделий наилучшие по достоверности и производительности результаты обеспечивает [2, 3] бесконтактное намагничивание изделий при падении вдоль направляющей сквозь катушку с постоянным током и измерение остаточного магнитного потока Φ_d в изделии.

Различные методики магнитного контроля изделий реализованы [2, 3] созданием на пути движения изделий компактных областей с магнитным полем заданной напряженности. Разработанные принципы создания за областью с намагничивающим полем H_o на пути движения изделия протяженной области с однородным магнитным полем заключаются [4] в использовании эффектов одинаковой скорости уменьшения магнитного поля на оси катушек, имеющих разные внутренний и внешний диаметры, на разных расстояниях от их торцов, создания однородных поля и градиента поля катушками Гельмгольца и резкого уменьшения поля за пределами «безмоментных» намагничивающих катушек. Разработанные принципы реализованы в комплексе приборов магнитного контроля движущихся изделий – магнитных анализаторах качества стальных изделий МАКСИ», автоматически сортирующих изделия на годные и брак с производительностью до 2 изделий в секунду.

В приборе «МАКСИ (АНБ-692)» индукционные преобразователи измеряют максимальный магнитный поток Φ_M в изделии при намагничивании и Φ_d в области, где намагничивающее поле скомпенсировано [2]. В приборе «МАКСИ-2» изделия перед измерением Φ_d частично размагничивают [2]. Приборы «МАКСИ-У» (универсальный) и «МАКСИ-Д» (дизельный) обеспечивают создание на пути движения изделий заданной конфигурации магнитного поля и измерение магнитных параметров изделия при движении в нем [3, 4]. Принцип действия прибора «МАКСИ-П» (портативного) заключается [2, 4] в бесконтактном намагничивании изделия в открытой магнитной цепи при его свободном падении сквозь область с намагничивающим полем постоянной напряженности H_e и измерении величины Φ_d остаточного магнитного потока в изделии при его движении сквозь область, где намагничивающее поле экранировано. Намагничивание осуществляется в стационарном поле двухполюсной магнитной системы напряженностью 46 кА/м. Намагничивающее поле ортогонально направлению движения изделия.

Технические характеристики приборов МАКСИ, надежность контроля и сортировки, удобство включения приборов в действующие циклы производства подтверждены результатами метрологической аттестации, внедрением на заводах России и Беларусии.

Эксплуатация автоматизированной линии контроля и автоматической разбраковки по обрабатываемости не обточенных отливок ниппелей из ковкого чугуна КЧ 30-6 на базе приборов «МАКСИ-П» на Минском заводе отопительного оборудования приносит экономический эффект свыше 400 тыс. дол. в год.

Для повышения чувствительности контроля к механическим свойствам среднеуглеродистых легированных сталей предложено: намагничивать изделие в процессе движения измерить Φ_d (Ф1) после выхода изделия из области с намагничивающим полем, создать на пути движения изделия локальную область с постоянным размагничивающим полем, измерить второе значение остаточного магнитного потока Φ_d (Ф2) в изделии после его выхода из области с размагничивающим полем и о свойствах изделия судить по отношению *F3* результата этого измерения к разности результатов первого и второго измерений. Проведенные исследования показали, что наилучшую достоверность контроля обеспечивает размагничивающее поле 2 кА/м. Информационный параметр контроля *F3* обеспечивает высокую чувствительность контроля к механическим свойствам ответственных болтов Минского моторного завода из сталей 40Х, 40ХН и независимость результатов контроля механических свойств изделий от изменений их размеров в пределах технологических допусков [3, 4].

Использование роторно-конвейерного движения изделий реализовано [5] при контроле качества локальной термообработки изделий «Регулировочный винт» из стали 45 двигателей Минского моторного завода. Максимально высокая чувствительность к качеству поверхностной закалки головки винтов оказалась у третьей гармонической составляющей сигнала накладного электромагнитного преобразователя при локальном воздействии поля на головку винта. Установлено [5], что сигнал «сырого» изделия в 4,5 раза превосходит сигнал от изделия, подвергнутого поверхностной ТВЧ-закалке (ТВЧ – токи высокой частоты) по технологическому режиму. Это соответствует изменению магнитных свойств стали 45 при ТВЧ-закалке [1]. Учитывая достигнутый уровень чувствительности, такой принцип магнитного воздействия на контролируемую деталь и получения информации об ее свойствах использован в разработанном приборе «Автоматизированный сортировщик АС – 1» [5]. На роторном конвейере одновременно выполняется измерение электромагнитного параметра детали, загрузка следующей детали в транспортный механизм и сброс предыдущих деталей в накопители. Все процессы синхронизированы с шаговым вращением транспортного механизма. Это позволило измерять магнитный параметр изделия в моменты остановки шагового двигателя, обеспечивая высокую производительность и достоверность автоматической сортировки изделий на «годные» и «брак».

Заключение. Разработанные принципы магнитного контроля механических свойств изделий из ферромагнитных сталей, использующие последовательно-поступательное и роторно-конвейерное движение контролируемых изделий и реализованные в приборах «МАКСИ» и «АС-1», позволяют обеспечивать заданные механические свойства массовых партий ответственных деталей машиностроительных и металлургических заводов.

Литература

1. **Михеев М.Н., Горкунов Э.С.** Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля. М.: Наука, 1993. 252 с.
2. **Сандомирский С.Г.** Магнитный контроль физико-механических свойств изделий массового производства в движении (обзор) // Дефектоскопия. 1996. № 7. С. 24–46.
3. **Сандомирский С.Г.** Магнитный контроль структуры стальных и чугунных изделий. Современное состояние (обзор) // Литье и металлургия. 2008. № 2. С. 33–42.
4. **Сандомирский С.Г., Синякович Э.Б.** Использование последовательно-поступательного и роторно-конвейерного движения массовых партий ответственных изделий машиностроения для магнитного контроля их качества // Механика машин, механизмов и материалов. 2008. № 2. С. 70–75.
5. **Сандомирский С.Г., Цукерман В.Л., Синякович Э.Б.** Прибор-автомат для электромагнитного контроля качества ТВЧ-закалки локального участка малогабаритного изделия // Дефектоскопия. 2005. № 7. С. 61–68.

20. THE MONITORING OF CRACK GENERATION PROCESSES OF ROTOR SYSTEM'S ROTATING ELEMENTS

Volkovas V., Kaunas University of Technology, Kaunas, Lithuania

Acoustic emission has more and more new applications, in particular, in the field of monitoring crack generation processes in operating machines. This development is most important for heavily loaded machines with a limited operational life, e.g., the turbine-pump units TPUs of spacecrafts. Emergency protection systems will be more effective if the possibility of direct testing of crack generation at early stages, when micro cracks just begin to form a macro crack, is implemented. Analysis of the problems of diagnostics of cracks in rotating structures, in particular, the propellers of rotors of TPUs, shows that, in principle, two trends in the development of the crack generation devices based on the AE technique are possible. The first involves the development of devices built-in to a rotor and the transmission of AE signals from the rotating rotor to a stator, while the second suggests development of highly sensitive resonance-type AE transducers attached to the TPU and corresponding system for the detected signals' processing. These trends have both advantages and disadvantages, but it is note that no simple technical solutions excluding the alternative possibility can be achieved in both trends. Use of the AE method for diagnostics of the condition of rotating structures requires solutions to the problems caused by specifics of acoustic channels and the rotational motion of an element of a rotor system under inspection.

As regards propellers of turbines, these processes can be detected reliably only with built-in devices. The most promising trend is to use special equipment that transform stress waves into electric AE signals and combine several functions: a sensor transforming mechanical energy into electric energy, an AE signal filter, and a translator of signals from a rotating structural element to the stator and then to an indicator.

Our studies have shown that piezoelectric materials with high sensitivity and a high Curie point (about 1200 °C) can be used as such sensors. A probe based on that sensor provide reliable detection of AE caused by crack generation in a wide temperature range (we reliably detected AE signals at temperatures up to 600 °C.) This approach to the problems of testing crack generation is possible if complete information on the AE character and parameters associated with crack generation in propellers made of certain materials is available. The results of testing such materials considered in this study have been approved during production and testing of the original crack-generation monitoring device for a TPU of a rocket engine.

The obtained results have opened a new path to solution of the problem and to development of a fundamentally new scheme of the setup for detection and inspection of crack generation in rotating parts of machines, in particular, propellers of TPUs. Its operation can be explained as follows. Functioning of the TPU results in vibrations (several tens of kilohertz) of the propeller's blades and background noise of the object arises because of friction in bearings, glands, and other elements.

The arrangement, the material of sensor (single crystal of lithium niobate $LiNbO_3$), and the structure of the probe (shaped as a plate specially cut with respect to the crystallographic axes of the single-crystal, then its surfaces were covered with thin metal film) provide separation of these noises by frequency and amplitude. Firstly, the probe does not detect frequencies below 1 MHz; secondly, high-frequency noises, e.g., from bearings, are attenuated considerably in the acoustic channel and, thus, will also not be detected by the probe, fixed directly on the base of the propeller. Thus, only the AE signals above 1 MHz, which appear owing to cracks generated in the propeller, provide the optimal conditions for excitation of the probe; in this case, an alternating electric charge appears on its metallic surfaces (owing to deformation and the piezoelectric effect). Because one of the probe's surfaces is electrically connected with the base of the propeller (through the rotor, the bearings and with the stator/unit's case too) and other surface of the probe directed parallel to the metallic ring, which is isolated from the stator/unit's case and attached to last by the gasket. The capacitance of the ring–probe pair induces an alternating voltage detected by the indicator having a common ground with the unit's case. Thus, if any crack is generated, the AE signals will be detected by the indicator, e.g., by the analyzer of AE signals. It should be noted that use of the lithium niobate single-crystal plate allows detection of acoustic signals in the frequency range from 1 MHz to tens of MHz; therefore, the possibility of finding nucleating flaws at early stages is realized. This circumstance allows an increase in the reliability of crack-generation detection and, therefore, allows the protection system to be turned on timely. Elimination of electronic blocks from the interior cavities of the rotors of TPUs also increases reliability of the setup, simplifies its design, improves the testing conditions, increases the operational life, and broadens the field of application of the setup.

An acoustic signal may be separated from the level of the noise effectively enough using statistic methods. In general the registered signal $y(t)$ is the whole of both the acoustic emission signal $x(t)$ and the additive noise $\eta(t)$. Processes that influence the noise are usually analysed beforehand, determining a mean and variance and confirming or rejecting the supposition of stationary. In most cases $\eta(t)$ is observed as a stationary random process with the normal distribution, e.g. $N(m_\eta, \sigma_\eta^2)$.

At the time a defect initiates, the power spectrums of the components $x(t)$ and $\eta(t)$ may satisfy one of three possible conditions: $s_x(\omega) >> s_\eta(\omega)$; $s_x(\omega) \approx s_\eta(\omega)$; $s_x(\omega) < s_\eta(\omega)$. But $y(t)$ is random process for all three cases. It is stationary when there are no cracks and it is non-stationary when cracks occur.

Having the first condition there are not any technical problems to carry out the registration of the acoustic emission signal, to diagnose and to determine a crack location. The second

and the third cases require special means for the evaluation of the signal $y(t)$ and for the crack identification. If $s_x(\omega) \approx s_\eta(\omega)$, the identification can be performed: by the discrimination of the signal $y(t)$ on the level $3\sigma_\eta$ and by the analysis of the process $y^*(t) = y(t) - 3\sigma_\eta$, or analysing the change of the moments of a random process $y(t)$. In the second condition it is possible to register an initiation of the acoustic emission signal even if: $s_x(\omega) \approx (0{,}7...1{,}1)s_\eta(\omega)$. In the third condition such a registration of the signal is already problematic, because the identifying moments give great scattering.

Besides the registration of the acoustic emission signal, the prediction of a defect development is very important to monitoring systems too. The early part of the cumulative curve of the acoustic emission can be determined according to the experimental curves of the emission intensity $\lambda(t)$.

Development of studies in this field will further an increase in the reliability of engines used in the aerospace industry and power plants and will provide wider application of non-destructive testing techniques in the systems for inspecting the technical conditions of objects.

21. **ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ УТЕЧКИ**

Сажин С.Г., Мясников В.М., Дзержинский политехнический институт НГТУ, Дзержинск, Россия

Определение места течи относится к наиболее трудоемкой технологической операции в области неразрушающего контроля. Объясняется это тем, что дефектоскопическую информацию получают по распределению концентрационного поля пробного газа над поверхностью контролируемого изделия, которое подвержено искажению потоками атмосферного воздуха; в результате снижается точность измерения величины течи и ее координат. В докладе рассмотрен мембранный метод [1] защиты концентрационного поля от внешних воздействий и приводятся результаты экспериментальных исследований влияния параметров защитной среды (порометрические характеристики мембраны, ее габариты, наличие газонепроницаемой поверхности и защитного газа) на достоверность контроля. По результатам экспериментальных и теоретических исследований установлено, что защитная среда способствует повышению чувствительности и производительности испытаний изделий на герметичность.

Важным фактором определения мест утечки является эффективность метода обработки дефектоскопического сигнала, который принимает форму пика над уровнем фона. В полной мере формализацию дефектоскопического сигнала можно осуществить с помощью центрального момента n-го порядка [2]. Начальный нулевой момент характеризует площадь пика. Первый момент позволит определить координату положения течи вдоль траектории движения щупа. Отношение начального нулевого момента к максимальному значению пика укажет на расстояние от течи до траектории движения щупа. Второй момент определит ширину пика. Коэффициент асимметрии пика выражается через третий момент. Острота пика находится по четвертому моменту. Фильтрация ложного пика на выходе с течеискателя производится по совокупности значений параметров его формализации, поскольку формализованные параметры от течи имеют детерминированный характер, а параметры от ложного пика – случайный характер, поэтому использование метода определения утечки по формализованным параметрам повышает метрологические характеристики устройства для определения течи.

Эффективность испытаний на герметичность оценивают измерительной системой по контрольной течи. В докладе представлены две технологии изготовления течи ка-

нального типа. Данный тип течей применяют также для экспериментального подтверждения теоретической зависимости, по которой оценивается норма герметичности изделия. Технология изготовления контрольных течей канального типа основана на диффузионной сварке. При получении течи диафрагменного типа использовался пиролитический процесс осаждения хрома из паровой фазы металлоорганического соединения, что позволило выделить на поверхности течи хромовую пленку высокими физико-механическими свойствами. Предложенные технологии позволяют получать течи с заранее заданной проводимостью канала течи.

Литература

1. **А.с. 1068755. СССР, МКИ^3 G 01.** Способ испытания изделий на герметичность и устройство для его осуществления / В.М. Мясников, В.И. Шапоренко, А.И.Юрченко. Заявлено 30.07.84; Опубл. 23.01.84 // Бюл. № 3.
2. **Сажин С.Г., Мясников В.М., Дятлов А.И.** Определение координат мест негерметичности в сварных швах // Мир измерений. 2007. № 11. С 47-49.

22. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ ПРИ УЗ-КОНТРОЛЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Качанов В.К., Соколов И.В., Воронкова Л.В.*, Родин А.Б.,
Московский энергетический институт, Москва, Россия
*ОАО НПО "ЦНИИТМАШ", Москва, Россия

При УЗ-контроле сложноструктурных изделий (из чугуна, стали, бетона и др.) возникает проблема обнаружения дефектов, замаскированных коррелированными с зондирующим сигналом многочисленными отражениями от структурных неоднородностей контролируемого материала – структурным шумом. Как сказано в [1], для выделения «полезного» информационного эхосигнала из структурного шума необходимо вначале разделить, декоррелировать «полезный» сигнал и помеху, а затем подавить помеху и выделить эхосигнал от дефекта. Это возможно сделать при использовании частотных (временных) методов обработки сигналов, но кардинальное решение проблемы выделения эхо-сигналов из структурного шума обеспечивается только при использовании пространственных методов обработки сигналов. В этом случае УЗ-датчик должен последовательно перемещаться по поверхности контролируемого изделия (рис. 1, *а*) таким образом, чтобы во всех положениях в зону облучения, определяемую диаграммной направленности (ДН) датчика, попадал искомый дефект. При таком *многоканальном* контроле осуществляется пространственная декорреляция «полезного» эхосигнала от дефекта и помехи. Сечение двух соседних ДН в плоскости *B*' выделены штриховкой на рис. 1, *б*. В силу того, что структурные неоднородности распределены в объеме случайно, то отражения от них, образующие структурный шум, будут также распределены во времени случайно. Далее эхосигналы в каждом из каналов накапливаются (складываются). Соответствующие временные диаграммы – отражения от неоднородностей структуры и от дефекта для двух ДН показаны на рис. 1, *в*, *г*. Эхосигналы от дефекта на них совпадают во времени. Эхосигналы от неоднородностей структуры, как правило, не совпадают. Для выделения дефекта из структурного шума сигналы в двух пространственных каналах необходимо сложить (рис. 1, *д*). В том случае, когда дефект "присутствует" в каждом пространственном канале, при сложении реализаций эхосигнал от дефекта возрастает в *N* раз (рис. 1, е). При этом значение уровня структурного шума увеличивается не более чем в раз, а отношение сигнал/структурный шум – не менее чем в раз.

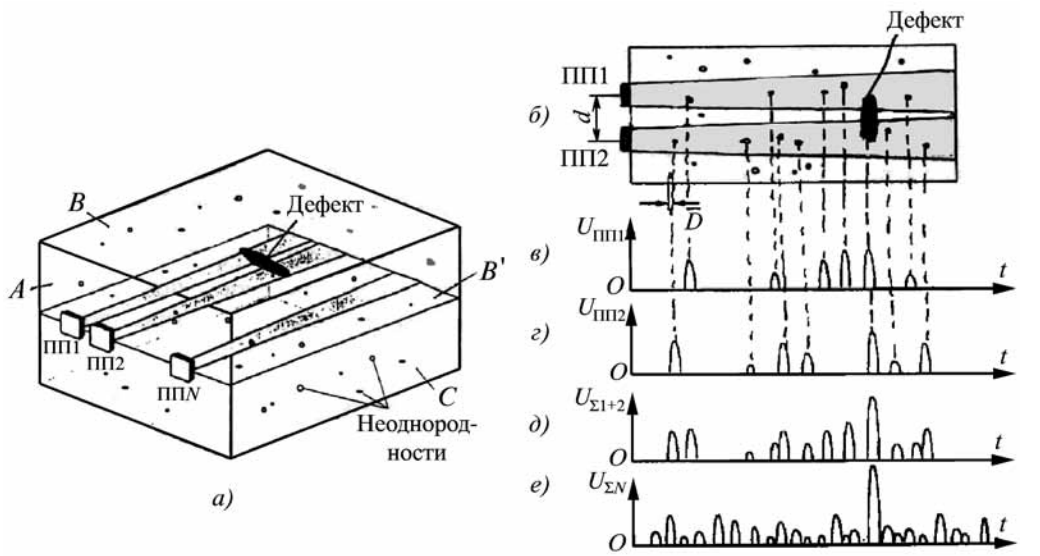


Рис. 1. Условная схема пространственной обработки УЗ-сигналов с целью выделения эхосигнала от дефектов из структурного шума:
а – схема эксперимента; *б* – пояснение образования сигнала структурного шума при двухканальной обработке; *в* – эхосигналы от структуры и от дефекта в 1-м канале; *г* – эхосигналы от структуры и от дефекта во 2-м канале; *д* – суммарный сигнал в двух каналах; *е* – суммарный сигнал в *N* каналах

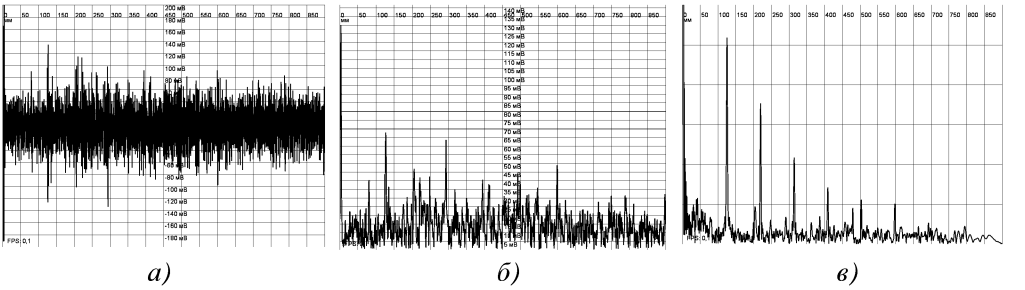


Рис. 2. Результаты УЗ-контроля изделия из крупнозернистой стали (диаметр – 80 мм, высота – 100 мм):
а – без пространственной обработки; *б* – при использовании временной обработки (СД и ОФ); *в* – при использовании пространственно-временной обработки

Результаты эксперимента по использованию пространственно-временной обработки сигналов при контроле образца из крупнозернистой стали (диаметр – 90 мм, высота – 100 мм) приведены на рис. 2. Использовался мозаичный, широкополосный, раздельно-совмещенный преобразователь со средней частотой 1,25 МГц и полосой 125 %. Зондирующий сигнал – радиоимпульс длительностью один период колебаний несущей частоты; эхосигнал какой-либо обработке не подвергался (рис. 2, *а*). На рис. 2, *б* представляют результаты контроля того же изделия при использовании того же зондирующего сигнала, но после временной обработки оптимальной фильтрации (ОФ) и синхронного детектирования (СД) эхосигнала. На толщине 120 мм наблюдается донный сигнал (100 мм –

толщина образца и 20 мм – задержка в протекторе антенны). На рис. 2, *в* результаты контроля при использовании пространственно-временной обработки. Применялся широкополосный сложномодулированный ЛЧМ-сигнал длительностью 120 мкс с девиацией 1,5 МГц и базой Б = 180; эхо-сигнал обрабатывался в ОФ и СД; при контроле проводилось сканирование датчика по поверхности изделия с последующим накоплением 150 эхоимпульсов в пределах круговой области диаметром 80 мм.

Литература

1. **Качанов В.К., Карташев В.Г., Соколов И.В., Туркин М.В.** Проблемы выделения УЗ-сигналов из структурного шума при контроле изделий из сложноструктурных материалов // Дефектоскопия. 2007. № 9. С. 71–86.

23. ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ ЭЛЕКТОРОМАГНИТНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ДЕФЕКТОСКОПИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛОПРОДУКЦИИ В ПОТОКЕ ЕЕ ПРОИЗВОДСТВА

Федосенко Ю.К., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия

Наряду с ультразвуковым при автоматизированном контроле массовой металлопродукции (труб, прутков, проволоки) как в потоке ее производства, так и при входном контроле на машиностроительных заводах широкое применение получили электромагнитные (вихретоковые и магнитные) методы благодаря таким их достоинствам как: высокое быстродействие, возможность вести бесконтактный контроль при загрязненной и грубой поверхности изделия, в том числе и покрытой окалиной, возможность работы в тяжелых условиях эксплуатации (высоких температурах, запыленности воздуха, наличии охлаждающих изделие жидкостей и масел). В современных электромагнитных дефектоскопах используют два вида электромагнитных (вихретоковых и магнитных) преобразователей: накладные вращающие и проходные. Дефектоскопы с проходными вихретоковыми преобразователями (ВТП) в силу эксплуатационной надежности получили наиболее широкое распространение. Однако такие системы имеют и ряд существенных недостатков:

- низкое значение соотношения сигнал/шум, особенно при контроле легированных и коррозионно-стойких сталей ($\frac{U_{\text{сии}}}{U_{\text{шум}}} = \sim 2$). При этом с ростом диаметра контролируемых изделий (при $D > 100$ мм) соотношение сигнал/шум понижается;
- слабая чувствительность к продольным дефектам с плавными заходными зонами (например, к коррозионным повреждениям без резких граничных зон);
- сильное мешающее воздействие специфических импульсных помех, возникающих при автоматизированном (особенно высокоскоростном) контроле от соударения трубы с роликами транспортного рольганга.

В последние годы разработан ряд методов, направленных на устранение указанных недостатков. Для повышения соотношения сигнал/шум используются два метода. Первый из них основан на применении конструкции проходного ВТП с угловой симметрией электромагнитного поля, которая достигается за счет металлического экрана с четырьмя вырезами, разнесенными по длине преобразователя. Во втором используется специальный шумоподавляющей канал, сигнал в который подается со второй пары измерительных дифференциальных обмоток ВТП, чувствительной только к шумам за счет большего диаметра. После выравнивания в обоих измерительных каналах сигналов от шумов и

их вычитания на сумматоре, выделяются только сигналы от дефектов. Их удается выделять при исходном соотношении сигнал/шум существенно меньшем единицы.

Повышение чувствительности к продольным дефектам с плавными заходными зонами достигается за счет применения преобразователей комбинированного типа: проходных и накладных вращающихся. Для выявления плавных коррозионных повреждений применяется набор датчиков Холла, регистрирующих напряженность продольного магнитного поля, используемого в проходных системах для выравнивания магнитных свойств сталей вдоль продольной оси изделия. Для отстройки от импульсных помех вводится дополнительный измерительный канал, сигнал в который поступает с дополнительной измерительной обмотки ВТП, смещенной вдоль продольной оси преобразователя на заданное расстояние. Сигналы от помех возникают в обоих каналах одновременно, а сигнал от дефекта – с временной задержкой, учитываемой программно.

24. **НОВЫЕ ПРАКТИЧЕСКИЕ ДОСТИЖЕНИЯ В ОБЛАСТИ ВИХРЕТОКОВОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ**

Бакунов А.С., Ефимов А.Г., Шубочкин А.Е.,
ЗАО "НИИИН МНПО "Спектр", Москва, Россия

В докладе представлена новая разработка в области вихретоковой дефектоскопии – дефектоскоп ВД-90НП, объединившая в себе преимущества портативных вихретоковых дефектоскопов, высокую чувствительность и функциональность рабочих станций, а также уникальный диапазон рабочих характеристик.

Он обладает высочайшей чувствительностью и способен выявлять дефекты глубиной от 0,1 мм и работать с зазором до 10 мм на ферромагнитных и немагнитных материалах.

Генератор дефектоскопа позволяет варьировать частоту тока возбуждения в широчайших пределах от 10 Гц до 2 МГц, при этом ток цепи возбуждения можно изменять от 5 до 200 мА, что позволяет использовать весь спектр накладных и проходных специализированных преобразователей. Дефектоскоп автоматически определяет тип преобразователя и автоматически выставляет для него рекомендованные ток и частоту возбуждения, что значительно упрощает настройку прибора.

Использование дефектоскопом беспроводной связи Bluetooth 2.0 обеспечивает передачу результатов контроля и управление дефектоскопом на расстоянии до 20 м. При этом вихретоковый дефектоскоп ВД-90НП может работать как со стационарным компьютером или ноутбуком, так и с КПК. Это позволяет применять 100%-ное документирование результатов контроля, цифровую фильтрацию сигнала в реальном времени, а объем хранимой информации ограничивается лишь памятью персонального компьютера.

ВД-90НП предназначен для работы в полевых условиях, в том числе и в зимнее время года на магистральных трубопроводах, в цеховых условиях депо и ремонтных заводов РЖД, судостроительных и судоремонтных верфях, в авиационной и других отраслях промышленности. Рабочий диапазон температуры окружающей среды расширен до минус –30…+40 °С, а степень защищенности дефектоскопа от проникновения пыли и воды соответствует IP54. Малые габариты и масса не более 380 г с элементами питания, эргономичная конструкция корпуса позволяют носить дефектоскоп во время работы как на поясе, так и в руке. При этом продолжительность непрерывной работы при включенном радиоканале составляет 15 ч, и это без дополнительного батарейного отсека.

Широкий выбор специализированных преобразователей и насадок для контроля поверхностей со сложной геометрией, а также возможность их разработок под новые задачи делает вихретоковый дефектоскоп ВД-90НП незаменимым при проведении вихретокового контроля практически на всех объектах.

25. **МАГНИТНАЯ КОАГУЛЯЦИЯ ЧАСТИЦ КАК ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ**

Шелихов Г.С., ЗАО ДНТЦ «Дефектоскопия», Москва, Россия

При проведении магнитопорошкового контроля ферромагнитные частицы, взвешенные в жидкости или в воздухе, попадая в магнитное поле, намагничиваются и притягиваются друг к другу, образуя цепочки, ориентированные по магнитным силовым линиям поля. Процесс образования цепочек из частиц порошка назвали магнитной коагуляцией.

При увеличении напряженности внешнего поля увеличиваются на торцовых поверхностях цепочек магнитные заряды и радиусы сфер действия магнитного взаимодействия. Если сферы оказываются пересекающимися, то возникает процесс магнитной коагуляции, происходит соединение цепочек в более длинные.

В керосиновой суспензии концентрацией порошка до 15…20 г/л параллельное соединение цепочек исключается, так как возникают магнитные силы отталкивания в случае сближения цепочек одноименными магнитными полюсами и взаимное смещение их друг относительно друга вдоль продольных осей. Это объясняется начительной неоднородностью поля по длине цепочек и сосредоточения на их торцах наибольших магнитостатических зарядов. В результате цепочки соединяются друг с другом торцевыми поверхностями, т.е. встык.

Длинные цепочки интенсивно накапливаются над рисками, подрезами сварных швов, так как сила в поле рассеяния малого градиента (например, риски), действующая на длинные цепочки, оказывается значительной.

Короткие цепочки (длиной 0,01…0,1 мм) позволяют получать четкие индикаторные рисунки над дефектами с большим градиентом поля (усталостными, шлифовочными трещинами, волосовинами и др.). Они слабо осаждаются в полях малого градиента (рисками, наклепом и др.).

Таким образом, магнитная коагуляция играет двоякую роль:

– при оптимальной интенсивности она повышает выявляемость дефектов, так как сила поля дефекта, действующая на цепочечную частицу, больше сил, действующих на отдельные частицы;

– при высокой же интенсивности выявляемость дефектов уменьшается из-за низкой чувствительности длинных цепочек к магнитным полям мелких дефектов и значительного фона из частиц порошка, образующегося на проверяемой поверхности.

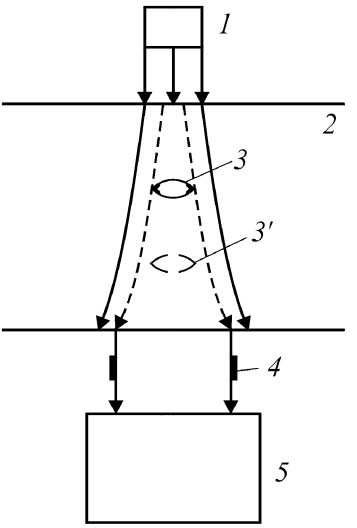
На представленном видеофильме показан процесс магнитной коагуляции частиц при съемках через микроскоп. В переменном магнитном поле при определенной напряженности наблюдается вращение частиц вокруг собственных осей.

26. **МЕХАНИЗМ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТА В СВЕТОРАССЕИВАЮЩИХ МАТЕРИАЛАХ**

Потапов А.И., Клопов В.Д., СЗТУ, Санкт-Петербург, Россия

Одним из эффективных методов неразрушающего контроля неметаллических композиционных материалов (стеклопластики, органопластики и др.), полимеров (полиэтилен, оргстекло, капролактам и др.) является оптический метод.

Рассмотрим механизм выявления дефекта с учетом расширения первоначального потока (см. рисунок). Выявление дефекта осуществляется за счет перекрытия (затенения) им светового потока. При приеме необходимо улавливать ту часть потока, которая



Механизм выявления дефекта с учетом расширения первоначального потока:

1 – излучатель; *2* – светорассеивающий материал; *3*, *3'* – дефект (с разной глубиной залегания); *4* – полевая диафрагма приемника; *5* – фотопреобразователь приемника

провзаимодействовала с дефектом. При таком режиме приема получается максимальная контрастность выявления дефекта.

Как видно из рисунка, принимать надо световую радиацию из-за расширения пучка, с площади большей, чем эффективное сечение (площадь) дефекта. При положении дефекта *3* принимаемый поток полностью перекрывается дефектом, а при положении *3'* – частично, и соответственно, в первом случае будет большая контрастность, чем во втором.

Для больших толщин материала (более 5 мм) необходимо принимать наряду с прямым потоком и часть рассеянного, исходя из выше указанных соображений. Изменение до-ли воспринимаемого рассеянного потока осу-ществляется регулировкой полевой диафрагмы 4.

Для проведения экспериментов были использованы плоские плиты стеклопластика (стеклоткань АСТТ(б)-С2-8/3, смола ЭХД). Образцы меньших размеров вырезались из плит, уменьшение толщины производилось отрывом слоев или фрезерованием.

В качестве примера в таблице приведены данные зависимости контрастности дефекта от размера полевой диафрагмы приемника для лампового излучателя для стеклопластика толщиной 19 мм.

Исследованиями было установлено, что существует оптимальная диафрагма приемника (полевая) при дефектоскопии стеклопластика для дефекта типа торцового сверления. Необходимо установить, как связаны размер диафрагмы и дефекта для данной толщины материала. Интересующее соотношение можно записать

$$\delta = d^2 c\,,$$

где δ – диаметр диафрагмы, мм; d – диаметр дефекта, мм; c – постоянный коэффициент для данной толщины материала.

Контрастность дефекта от размера полевой диафрагмы приемника для лампового излучателя для стеклопластика толщиной 19 мм

Размер диафрагмы, мм	Контрастность		
	Размер дефекта, мм		
	1,1	2,0	3,0
1,5	**0,053**	0,033	0,040
4,5	0,047	0,080	0,107
7,5	0,027	**0,120**	0,127
10,5	–	0,087	0,134
13,5	–	0,040	0,147
16,5	–	–	**0,187**
20,0	–	–	0,147
24,0	-	-	0,120

Для стеклопластика толщиной 19 мм c = 1,8. Для дефекта диаметром 1,1 мм оптимальная диафрагма 1,5 мм (точное значение 2,2 мм); для дефекта диаметром 2 мм – 7,5 мм (точное значение 7,2 мм); для дефекта диаметром 3 мм – 16,5 мм (точное значение 16,2 мм).

27. **ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ДЕФЕКТОСКОПИИ ДЛИННОМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ПЕРЕХОДНЫМ РАЗМЕРОМ СЕЧЕНИЯ**

Сучков Г.М., Ноздрачева Е.Л., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

В процессе прокатки в результате отдельных нарушений технологического процесса нагрева, обжатий и обработки проката или в результате недостаточно точной обработки могут возникать дефекты в виде трещин, рванин, закатов. Как правило, дефектоскопия таких изделий проводится согласно стандарту [1]. Это приводит к значительным потерям рабочего времени. При контроле стержней также используются низкочастотные контактные и бесконтактные методы и средства выявления дефектов, что повышает производительность, но при этом чувствительность контроля недостаточна, особенно к дефектам, вытянутым параллельно образующей [2]. Для решения этой задачи был разработан новый метод, базой которого является применение эффектов дифракции объемных волн [3] на дефектах различной ориентации и формы в стрежнях, без необходимости сканирования поверхности всего изделия.

Для проверки возможности метода проведены исследования стрежня круглого сечения (рис. 1) из стали марки Ст3 длиной l = 2 м диаметром d = 18 мм, с искусственным дефектом в виде поперечного сверления *1* глубиной 3 мм на расстоянии 200 мм от торца. Контроль проводился эхоимпульсным дефектоскопом 4 УД2-12 при помощи наклонного контактного ультразвукового датчика *3* с углом ввода УЗК 50° с частотой заполнения импульса 2,5 МГц. Датчик устанавливался на поверхность изделия возле торца, предварительно смазанную контактной жидкостью *2*. На экране дефектоскопа фиксировали отраженные пакетные импульсы от дефекта и от торца (рис. 2).

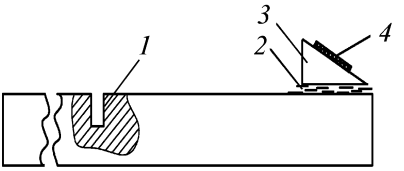


Рис. 1. Контроль стержня круглого сечения с искусственным дефектом в виде сверления

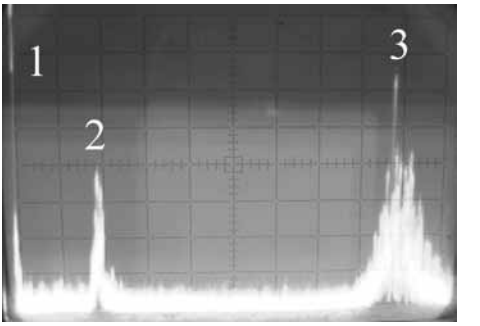


Рис. 2. Реализация на экране дефектоскопа с сигналом от дефекта:
1 – зондирующий импульс; *2* – импульс от дефекта; *3* – импульс от торца стержня

Показано, что описанный метод дефектоскопии наиболее эффективен для проката в ограниченном диапазоне диаметров от 15 до 50 мм. Исследованиями установлено, что разработанный метод контроля длинномерных изделий имеет недостаток, обусловленный тем, что волны, распространяющиеся по длине прутка, чувствительны к наличию на поверхности капель жидкости, что снижает чувствительность контроля. Поэтому, после перемещения преобразователя следует или удалять контактную жидкость с поверхности объекта контроля или использовать электромагнитно-акустический способ возбуждения и приема УЗК.

Литература

1. **ГОСТ 21120–75.** Прутки и заготовки круглого и прямоугольного сечения.
2. **Буденков Г.А., Недзведская О.В.** Основные закономерности взаимодействия волн Похгаммера с дефектами // Дефектоскопия. 2004. № 2. С. 33–46.
3. **Сучков Г.М., Ноздрачова К.Л.** Підвищення продуктивності й надійності виявлення дефектів в стрижнях // Вестник НТУ «ХПИ». 2009. С. 104–109.

28. ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ ТОМОГРАФОМ С ВИРТУАЛЬНОЙ ДИНАМИЧЕСКОЙ ФОКУСИРОВКОЙ

Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г.,
ООО «Акустические Контрольные Системы», Москва, Россия

Виртуальная динамическая фокусировка (ВДФ) – это способ визуализации внутренней структуры объекта контроля путем вычислительного (виртуального) «перемещения» точки фокусировки антенной решетки ультразвукового томографа в пределах визуализируемого сечения объекта. Причем фокусировка выполняется как для излучаемых, так и для принимаемых ультразвуковых сигналов. ВДФ обеспечивает потенциально наилучшие чувствительность и пространственное разрешение томографа в отличие от способа визуализации путем «качания луча» с динамической фокусировкой его по глубине.

Томограф «A1550 IntroVisor», основанный на ВДФ, предоставляет оператору четыре варианта реконструкции изображений типа B: обычную томограмму, томограмму в прямом излучении, в однократно отраженном от донной поверхности излучении и томограмму с использованием как прямого, так и многократно отраженного излучения от внешней и донной поверхностей объекта контроля. Обычную томограмму используют при контроле толстостенных изделий, более 50…70 мм. При меньших толщинах отражатели могут давать пару и более образов на экране: один действительный и остальные мнимые, вызванные зеркальным отражением ультразвука от поверхностей изделия. Чтобы оператору не ошибиться с интерпретацией образов и правильно оценить координаты отражателей, и служат три других способа реконструкции томограмм.

Контроль изделий ультразвуковым томографом методически во многом совпадает с контролем обычным дефектоскопом. Вначале требуется откалибровать прибор по контрольному отражателю в некотором стандартном образце и выровнять порог регистрации дефектов по полю изображения.

Чувствительность томографа не одинакова к отражателям, находящимся в разных точках визуализируемого сечения, что физически обусловлено формой диаграммы на-

правленности элементов антенной решетки и различными условиями взаимного перекрытия лепестков их диаграмм для каждого отражателя. Однако существует некоторая область сечения объекта, в пределах которой неравномерность чувствительности исходно невелика. Эта область расположена в определенном месте относительно антенной решетки. Ее положение и размеры достаточно стабильны при изменении скорости ультразвука в среде. Поэтому в пределах этой области чувствительность контроля программно выровнена для среды без затухания ультразвука. От оператора только требуется проверка равномерности чувствительности прибора перед контролем для коррекции ее с учетом затухания ультразвука в конкретном материале.

29. **РАССЕЯНИЕ ВОЛН РЭЛЕЯ ПОВЕРХНОСТНЫМИ ТРЕЩИНАМИ С ВЗАИМОДЕЙСТВУЮЩИМИ БЕРЕГАМИ**

Аббакумов К.Е., Бритвин В.А.*, Коновалов Р.С.
СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия,
*ООО “Компания “Нординкрафт”, Череповец, Россия

Одним из наиболее распространенных типов звуковых волн являются волны Рэлея. Данный тип волн хорошо изучен, максимально используем и широко применяется на практике. При их использовании для обнаружения дефектов, выходящих на поверхность объекта или залегающих на небольшой глубине, весьма полезны количественные оценки коэффициентов отражения и прохождения этих волн в случаях пограничных дефектов различных форм и размеров. В большинстве работ, посвященных данной проблеме не учитываются условия контактирования границ раздела дефектов. В основном приводятся результаты исследований рассеяния волн Рэлея в случае так называемой склейки (жесткого контакта), либо скользящего соединения. Подобные варианты контактирования граничных сред являются не единственно возможными. Любое отступление от условий склейки или скользящего соединения приводит к нарушению передачи упругих компонент смещений и напряжений через границу раздела сред. Весьма актуально рассмотрение данного вопроса с теоретической точки зрения, поскольку явление нарушенного акустического контакта («нежесткой» связи) – частое явление на практике. В связи с этим в предшествующих работах авторов на основе численно-теоретического анализа решена задача о распространении волн Стоунли вблизи границы раздела твердых сред при нарушении акустического контакта [1, 2].

В настоящем докладе рассматривается модель нежесткого соединения в виде вертикальной трещины в полубесконечном пространстве, по поверхности которого распространяется волна Рэлея. Численно-теоретические расчеты показывают, что подобная модель значительно лучше удовлетворяет экспериментальным данным, нежели модель скользящего соединения или склейки, поскольку учитывается возможность передачи компонент напряжений. Сформулирована и решена задача о рассеянии волн Рэлея, распространяющихся по поверхности твердого тела имеющего трещину глубиной h, в рамках модели нежесткого соединения в приближении линейного скольжения. Приводятся коэффициенты отражения и прохождения рэлеевской волны для описанного вида трещины.

Полученные результаты необходимы для оптимального проектирования средств неразрушающего контроля и могут использоваться при анализе и моделировании работы устройств обнаружения пограничных неоднородностей на рэлеевских волнах, а также для оценки затухания таких волн при рассеянии на единичных локализованных поверхностных дефектах.

Литература

1. **Аббакумов К.Е., Кириков А.В., Львов Р.Г.** Преломление упругих волн на плоской границе раздела с нарушенной адгезией твердых сред // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ» 2003. № 1. С. 10–16.

2. **Аббакумов К.Е., Коновалов Р.С.** Влияние нарушения акустического контакта на распространение волн Стоунли вблизи границы твердых полупространств // Дефектоскопия. 2008. № 3. С. 52–58

30. **СТАЦИОНАРНАЯ СИСТЕМА КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ**

Аристов В.П., Сизов С.В., ОАО «РЖД», Москва, Россия; Костюков В.Н., Казарин Д.В., Лагаев А.А., Стариков В.А., ОмГУПС, Омск, Россия; Костюков А.В., Кадисов Л.Г., НПЦ «Динамика», Омск, Россия

Повышение качества пригородных пассажирских перевозок невозможно без обеспечения высокой надежности и коэффициента эксплуатационной готовности моторвагонного подвижного состава (МВПС). Традиционные методы решения этой задачи на базе разнообразных приборов диагностики обладают рядом существенных недостатков: субъективностью; высокой трудоемкостью и продолжительностью постановки диагноза вследствие низкой степени автоматизации диагностического процесса, что не позволяет осуществлять диагностику в требуемом объеме (количестве и качестве), низкой достоверностью результатов, недоступностью объективной информации о техническом состоянии МВПС и его агрегатов в реальном времени, т.е. плохой наблюдаемостью фактического состояния МВПС. Поэтому отказы почти всегда проявляются как **внезапные**. В докладе представлены результаты разработки стационарной системы комплексной диагностики электропоездов, осуществляющей посекционно на испытательных участках в производстве или ремонте полную, достоверную и оперативную оценку технического состояния всех значимых подсистем поезда: электрической изоляции, колесно-моторных блоков, автотормозной системы, включая подвагонный компрессор, электрических цепей управления, силовых и вспомогательных электрических цепей, токоприемника. Все диагностические процедуры выполняются автоматически, в том числе управление: компрессором, контроллером силовым пневматическим (КСП), дверьми, пантографом, колесомоторным блоком. Оператор вручную выполняет подготовительные работы по подключению датчиков и электрозондов системы к электросекции. Системы обладают встроенной самодиагностикой программно-аппаратных средств, начиная от датчиков и зондов, включая правильность их установки, линии связи, до дисплея системы и принтера. Это исключает ошибки диагноза, связанные с неисправностью системы диагностики и ошибками персонала. Управление режимом работы диагностируемой электросекции, измерение параметров, постановка диагноза и формирование протоколов диагностики по каждой подсистеме и электросекции в целом осуществляются полностью автоматически, т.е. результаты диагноза носят объективный характер. Часть диагностических модулей системы – подсистема диагностики изоляции и подсистема диагностики пантографа – функционируют и передают данные по беспроводной радиосети на основе Wi-Fi технологий. В докладе рассматривается структура и алгоритмы работы отдельных подсистем и системы в целом. Новизну представляет собой способ комбинированного совместного диагностирования электрических и пневматических цепей электросекции во

всем диапазоне их комбинаций, определяемом положениями контроллера и крана машиниста и КСП, которые система задает автоматически. Стационарная система комплексной диагностики электропоездов внедрена в цехах подъемочного ремонта ТР3 в ряде базовых депо на сети железных дорог страны. Достижению высокого эффекта от применения данной системы способствуют: комплексный подход к диагностированию с вовлечением в процесс максимального числа элементов, аппаратов и узлов, использование механизмов снижения влияния «человеческого фактора», автоматического формирования заключения с указанием класса неисправности, а также надежных аппаратных средств. Время, затрачиваемое на комплексную диагностику секции электропоезда, составляет 3,5 ч, что позволяет производить отладку электропоезда на одной позиции. Система интегрирована в диагностическую сеть депо с целью мониторинга технического состояния всего парка электропоездов, качества их ремонта, производственной дисциплины.

31. **АВТОМАТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ТОКОПРИЕМНИКОВ ЭЛЕКТРОПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

Стариков В.А., ОмГУПС, Омск, Россия

В докладе представлены результаты разработки комплексной системы автоматической диагностики состояния токоприемников электроподвижного состава (ЭПС), являющихся одними из наиболее ответственных и важных узлов, поскольку отклонение их параметров от нормативных значений приводит к нарушению токосъема и повреждению контактной сети, что, как следствие, сказывается на безопасности движения.

В настоящее время существуют следующие проблемы контроля токоприемников в депо:

- визуальный контроль;
- проверка характеристик с использованием устаревших стрелочных приборов;
- низкая оперативность и достоверность диагностирования;
- влияние человеческого фактора.

Все это обусловливает низкое качество плановых ремонтов, а также недостоверность результатов контроля при большом объеме затрат. Кардинальное изменение существующего положения возможно за счет применения современных методов и систем технической диагностики, обеспечивающих объективный контроль состояния токоприемников при реализации оперативного проведения испытаний с сокращением затрат на поиск неисправностей и ремонт оборудования.

При разработке комплексной системы автоматической диагностики состояния токоприемников выдвигались требования:

- обеспечение контроля параметров в соответствии с требованиями нормативной документации;
- технологичность системы (компактность, минимизация проводных соединений, минимизация ручной работы, минимальное время диагностирования, минимальное число обслуживающего персонала);
- гибкая конфигурируемая структура;
- обеспечение надлежащих метрологических характеристик;
- самодиагностика собственных аппаратных средств;
- обеспечение персонала наглядной, достоверной и оперативной информацией о состоянии объекта для возможности принятия решения на месте об устранении обнаруженных недостатков с возможностью оперативной проверки результатов работы.

В системе был разработан новый метод диагностики состояния по функциональным зависимостям в координатах сила – высота – время. Система, функционирующая на основе этого метода, полностью соответствует вышеперечисленным требованиям и позволяет автоматически диагностировать неисправности таких узлов токоприемников, как поднимающие и опускающие пружины, тяги, редукционный клапан, шарнирные соединения и пневматическое оборудование. Кроме этого, система осуществляет полную самодиагностику собственных аппаратных средств, включая датчики, электронные модули и каналы связи между ними. Технические решения системы защищены рядом патентов на способы и устройства диагностики. Результаты диагностирования при необходимости могут быть распечатаны на принтере в виде протокола испытаний, в котором указываются численные значения измеренных параметров, состояние узлов токоприемника и диагностические сообщения, указывающие персоналу на конкретные действия по устранению неисправностей данных узлов. Полное диагностирование токоприемника требует участия одного оператора и занимает не более 20 мин. Система может быть интегрирована в диагностическую сеть депо для контроля технического состояния и качества ремонта оборудования.

32. **ОСОБЕННОСТИ РАССЕЯНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ ВОЛН НА СЛОЖНОСТРУКТУРИРОВАННЫХ ОБЪЕКТАХ**

Теплякова А.В., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

В работе исследуется поле, рассеянное твердыми цилиндрическими включениями бесконечной длины с нарушением адгезионной связи на поверхности в пределах некоторого сектора, ограниченного двумя образующими. Нарушение адгезии количественно характеризуется введением модулей контактных жесткостей, ответственных за передачу упругих смещений в нормальном и тангенциальном направлениях по отношению к границе. Предлагается способ «сшивания» граничных условий при угле раскрытия кольцевого слоя с помощью введения некоторой переходной зоны, в которой модули контактных жесткостей изменяются плавно по некоторому закону. Величину этой зоны можно уменьшить до таких размеров, что переход будет практически скачкообразный. Нормально падающую волну и рассеянные включением волны задают через векторный и скалярный потенциалы смещения. После подстановки в систему граничных условий компонент вектора смещения и тензора напряжений получается бесконечная система уравнений, которая является квазирегулярной и имеет единственное ограниченное решение. Рассматриваются случаи симметричного и несимметричного падения упругих плоских продольных волн на сектор с нарушенной адгезией. Полученные решения – коэффициенты рассеяния – позволяют рассчитать поперечное сечение рассеяния и компоненты напряжения и смещения в рассеянной волне в зависимости от состояния границы включения и его волнового размера.

Из анализа данных вычислений при симметричном падении волны на кольцевой слой существует некоторый критический угол раскрытия этого слоя:

– при углах меньше критического поле, рассеянное цилиндром с кольцевым слоем практически такое же, как при рассеянии на цилиндре с абсолютно жестким контактом на всей поверхности;

– при углах больше критического поле, рассеянное цилиндром с кольцевым слоем, практически такое же, как при рассеянии на цилиндре с нарушением адгезии по всей поверхности.

При несимметричном падении также существует критический угол расположения слоя (относительно фронта падающей волны), при котором происходит резкое изменение рассеивающих свойств цилиндрического включения.

Аналогичным образом решается более общая задача дифракции на конечной системе цилиндрических включений с нарушенной адгезией на части поверхности. Цилиндры в системе могут иметь произвольные размеры, произвольное расположение в пространстве и произвольное состояние поверхности. Граничные условия на поверхности каждого цилиндра сшиваются аналогичным образом. После применения теоремы сложения цилиндрических функций и подстановки в граничные условия компонент вектора смещения и тензора напряжений, так же как и для одиночного рассеивателя, получается бесконечная квазирегулярная система уравнений. Численно оценивалось нормированное поперечное сечение рассеяния для систем двух и трех цилиндров одинаковых волновых размеров и с одинаковым состоянием поверхности. При дифракции на системе цилиндров с нарушением адгезии в пределах некоторого сектора рассеянное поле схоже с полем, рассеянным одиночным цилиндром. При некотором угле раскрытия кольцевого слоя наблюдается резкое изменение поперечника рассеяния. Взаимодействие между цилиндрами влияет на осцилляции поперечника рассеяния.

33. **ПРИМЕНЕНИЕ MFL-СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДЕФЕКТОСКОПИИ И ДЕФЕКТОМЕТРИИ ДНИЩ РЕЗЕРВУАРОВ**

Слесарев Д.А., ООО «ИНТРОН-ПЛЮС», Москва, Россия

Применение магнитной и электромагнитной дефектоскопии при проведении инспекции днищ стальных резервуаров регламентируется рядом международных стандартов, в частности API 653. При этом предполагается ее применение в целях обнаружения пороговых дефектов, заданных в процессе калибровки аппаратуры на эталонном образце. Такой образец необходим для каждого объекта. Решение о степени критичности обнаруженного дефекта принимается на основе дополнительного ультразвукового обследования, которое должно дать ответ о размерах дефекта. Но как показывает практика, на реальных объектах не всегда оказывается возможным качественно подготовить поверхность для УЗК, также форма дефекта может создавать дополнительные трудности при определении его размеров. Поэтому возможность использовать магнитные дефектоскопы для целей дефектометрии представляет значительный интерес. Современная аппаратура позволяет решать такую задачу, однако при этом необходимо учитывать ряд факторов.

Магнитная дефектометрия опирается на решение обратной задачи электродинамики, что обусловливает требования к исходным данным и особенность интерпретации результата. Во-первых, необходимо обеспечить высокое пространственное разрешение измерительного сигнала. Во-вторых, нужен корректный выбор модели дефекта для расчета его параметров. Известно, что можно найти два дефекта различного типа с различными размерами (длиной, глубиной), формирующее почти совпадающее магнитное поле рассеяния. Правильный выбор модели позволяет снизить погрешность, связанную с возможной ошибкой классификации дефекта.

Компания «ИНТРОН ПЛЮС» активно занимается развитием методов магнитной дефектометрии, в частности в применении к таким объектам, как стальные резервуары. Как показывает опыт, применение MFL-сканеров позволяет с приемлемой достоверностью достичь точности определения глубины дефектов до 20 % толщины стенки.

34. КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МЕТОДА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ВИБРАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ

Подмастерьев К.В., Семенов В.В., Орловский государственный технический университет, Орел, Россия

Диагностирование подшипников является ответственной и трудоемкой задачей. Существующие методы диагностирования и используемые параметры лишь в большей или меньшей степени оценивают совокупность происходящих в подшипнике и подшипниковом узле процессов и явлений. Для получения более полной оценки часто прибегают к комплексированию методов диагностирования. В результате анализа преимуществ и недостатков применяемых для диагностирования подшипников методов для комплексирования были выбраны группы наиболее часто используемых на практике вибрационных и электрических параметров. Целью работы является предложение концепции построения комплексного метода диагностирования, основанного на использовании указанных групп параметров.

Комплексирование диагностических параметров указанных групп в едином методе повышает эффективность и достоверность диагностирования. Основанием для выбора принципа комплексирования послужило рассмотрение существующих математических моделей, описывающих вибрационные и электрические процессы в отдельных зонах трения и в подшипнике в целом. Особое внимание уделялось факторам, вносящим наиболее значимый вклад в уровни моделируемых вибрационных и электрических диагностических параметров.

В результате обнаружена совокупность взаимосвязей параметров и теоретически подтверждена гипотеза о зависимости двух различных по сути процессов в зонах трения (механических и электрических) от единых факторов, определяющих состояние подшипника в узле (макрогеометрия, микрогеометрия, условия смазывания, условия работы и пр.). Основу для моделирования вибрации составляет математическая модель распределения нагрузки и деформаций в зоне нагружения подшипника и в зонах трения его контактирующих деталей. Исходными данными при описании распределения нагрузки в подшипнике являются прилагаемое внешнее усилие и геометрия подшипника. Для моделирования пятна контакта необходима модель макрогеометрии поверхностей качения (скольжения) подшипника и модели микрогеометрии поверхностей контакта с учетом реального распределения нагрузки по телам качения (для подшипника качения). Модели электрических параметров и производных от них диагностических параметров (в частности вероятность микроконтактирования) базируются на оценке состояния смазочного слоя и свойствах смазочного материала также с учетом вышеописанных факторов нагружения и деформации. В свою очередь состояние смазочного слоя зависит от состояния поверхностей контактирования, что вновь приводит к рассмотрению моделей макро- и микрогеометрии этих поверхностей. Таким образом, при рассмотрении структуры математических моделей диагностических параметров обеих групп сделан вывод об общности влияющих факторов. Это обстоятельство позволяет синтезировать новые комплексные параметры, более достоверно характеризующие действительное состояние подшипника в узле на основе использования вибросигнала и электрического сигнала.

В рамках реализации данной концепции в настоящее время проводятся теоретические и экспериментальные исследования корреляционных связей между указанными группами параметров с целью синтеза комплексных параметров, обеспечивающих повышение информативности и достоверности диагностирования. В частности, малую

чувствительность параметров вибрации к состоянию смазочного слоя компенсирует применение электрических методов, несущих информацию о состоянии смазки непосредственно из зоны контакта.

Проводимые исследования направлены на проверку правильности выдвинутой гипотезы и оценку эффективности и достоверности предложенного метода по сравнению с аналогами.

35. СИГНАЛЫ НАКЛАДНОГО ВТП ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ДЕФЕКТОВ ПЛОСКИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ОБРАЗЦОВ

Тюпа И.В., Национальный технический университет
«Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

Основным элементом, преобразующим физические явления в электрический сигнал, при вихретоковом контроле и диагностике является вихретоковый преобразователь (ВТП). При проектировании ВТП для контроля дефектов возникает задача определения реакции ВТП на распределения электромагнитного поля в объекте контроля с дефектом и окружающем пространстве. Для решения данной задачи применяются известные аналитические (в задачах с простой геометрией) или численные методы, которые основаны на дискретизации расчетной области, т.е. за счет аппроксимации уравнений электромагнитного поля. В данной работе предлагается расчетная модель взаимодействия накладного ВТП с зеркально отображенными индуцированными вихревыми токами в плоском токопроводящем объекте с дефектом конечного размера. При этом намагничивающая измерительная обмотка и объект контроля представляются отдельными витками со своими электромагнитными свойствами. При решении принятой модели осуществляется переход от уравнений электромагнитного поля к решению классической системы линейных алгебраических уравнений ТОЭ, причем рассматривается взаимодействие каждого отдельного витка с остальными, каждый из которых представлен соответствующими активными сопротивлениями R_{ij}, индуктивностями L_{ij} и взаимоиндуктивностями M_{ij}.

На рис. 1 показан плоский образец с индуцированными вихревыми токами I_j , помещенный в электромагнитное поле B намагничивающей обмотки ВТП. Измерительная обмотка выполнена в виде плоской однослойной катушки $W_и$. Поверхностный дефект

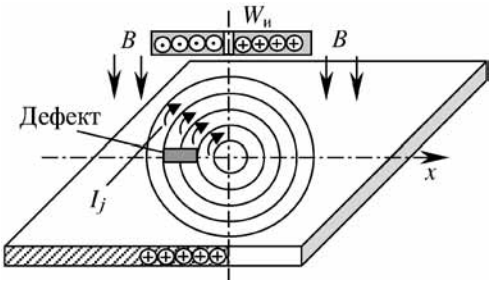


Рис. 1. Иллюстрация расчетной модели накладного ВТП с объектом контроля

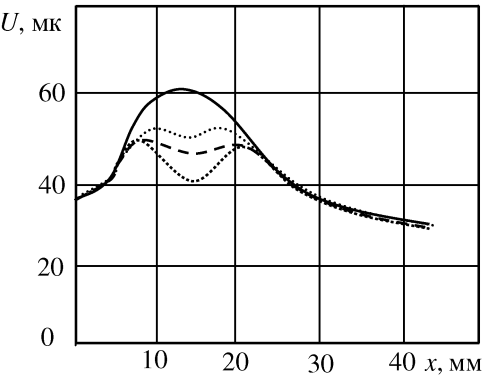


Рис. 2. График зависимости выходных сигналов ВТП для каждого из витков

показан на рисунке в виде прямоугольной трещины произвольной длины. Глубина трещины эквивалентна толщине элементарного кольца вихревого тока в образце. Ширина трещины в данной задаче не учитывалась, поскольку при решении системы уравнений, вихревой ток в соответствующих кольцах трещины принимается равным нулю. На рис. 2 показаны результаты расчета выходного сигнала витков измерительной обмотки как при отсутствии трещины, так и для различных по длине трещин. Из графика видно, что при такой модели измерительной обмотки сигнал с отдельных ее витков повторяет по форме индуцированный вихревой ток в объекте контроля. При этом перспективным считается распространение решения этой задачи на многослойные объекты с подповерхностными трещинами. Очевидным недостатком данного подхода является нечувствительность расчетного выходного сигнала ВТП к ширине поверхностной трещины.

С. 36. **ПРИМЕНЕНИЕ БЕТАТРОНОВ В КОМПЛЕКСАХ РАДИОМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Касьянов В.А.*, Касьянов С.В.*, Токач Е.Ф.*, Чахлов В.Л.*, Чахлов С.В.*, Штейн М.М.*, Усачев Е.Ю., Лебедев М.Б., Чумаков Д.М., ТСНК МИРЭА, Москва, Россия;
*ФГНУ «Научно-исследовательский институт интроскопии», Томск, Россия

Произведен анализ результатов применения бетатронов в радиометрическом досмотровом контроле крупногабаритных объектов. Приведены сравнительные характеристики досмотровых комплексов.

Тезисы доклада

1. Классификация досмотровых систем по типу выполняемых задач и источников ионизирующего излучения.
2. Характеристики бетатронов, предназначенных для применения в досмотровых системах.
3. Особенности применения бетатронов в досмотровых системах.
4. Сравнение характеристик досмотровых комплексов, использующих бетатрон в качестве источника тормозного излучения.
5. Выводы, перспективы применения бетатронов в досмотровых системах.

Современная экономика характеризуется возрастанием потока товаров между государствами. Важной задачей государственных органов является контроль за перемещением грузов. Особое внимание уделяется выявлению недекларированных товаров и запрещенных без наличия особых разрешительных документов к перемещению через границу веществ – наркотиков, взрывчатых веществ, ядовитых, радиоактивных веществ. Одно из важнейших мест среди технических средств досмотрового контроля занимают комплексы цифровой рентгенографии и радиографии. Метод цифровой рентгенографии отличает высокая информативность, основанная на возможности визуализации структуры объекта контроля, выявления, идентификации веществ недопустимых локальных вложений и определения их геометрического положения. В комплексах цифровой радиографии крупногабаритных объектов в качестве источника фотонов используют линейные ускорители и бетатроны.

Наиболее сложная в техническом плане и дорогостоящая аппаратура используется для досмотра крупногабаритных транспортных средств, контейнеров и грузов на пограничных контрольно-пропускных пунктах и таможенных терминалах. Для осуществления указанного досмотра применяются стационарные и мобильные цифровые радиографические комплексы [1–8].

Стационарные комплексы размещаются в специально спроектированных зданиях, имеющих необходимую биологическую защиту. В качестве источника излучения здесь обычно используются линейные ускорители электронов на энергию от 8 МэВ и выше, их применение позволяет достичь максимальной пропускной способности контролируемых грузов, большой досягаемости по толщине контролируемого объекта и высокого пространственного разрешения получаемых рентгеновских изображений. Часто используется несколько источников излучения для получения изображения объекта в нескольких ракурсах [1,3]. При выдающихся технических характеристиках системы имеют очевидные недостатки – это большие финансовые затраты на создание таких комплексов и всей соответствующей инфраструктуры и стационарность комплексов, что ограничивает их область применения.

Мобильные досмотровые комплексы при более скромных характеристиках лишены недостатков стационарных. Для их размещения необходимо обеспечить лишь соответствующую площадь и подъездные пути для контролируемого транспорта. Эти комплексы перемещаются на автомобилях, и в связи с этим необходимо проектировать их таким образом, чтобы параметры источника тормозного рентгеновского излучения позволяли использовать для него биологическую защиту, допускающую мобильность системы. Также для нормального функционирования подобной досмотровой системы нужно обеспечить выполнение множества других условий, таких, например, как устойчивая работа всех блоков этой системы, удобство при работе и настройке данной системы, быстрота развертывания комплекса, надежное электропитание, работа в различных эксплуатационных условиях.

Все эти требования в первую очередь выдвигаются к источнику излучения [9]. Линейный ускоритель дает большую интенсивность излучения, что позволяет достичь хорошего пространственного разрешения при высокой скорости сканирования объекта. В то же время работа линейного ускорителя при малых токах инжекции нестабильна. Работа же на номинальных больших токах ведет к большому энергопотреблению, что сильно снижает мобильность досмотрового комплекса. Помимо этого, большая интенсивность излучения предполагает использование сложной по конструкции биологической защиты и принятие мер для уменьшения отраженного объектом излучения (несколько коллиматоров, увеличение санитарной зоны вокруг комплекса и пр.) Бетатрон лишен этих недостатков, при той же энергии излучения энергопотребление бетатрона в несколько раз меньше, к тому же благодаря относительной простоте конструкции цена его на порядок ниже по сравнению с линейным ускорителем. Единственный минус – малая интенсивность излучения, что приходится компенсировать увеличением размеров детектора в среднем в 2 раза (и, как следствие, уменьшением пространственного разрешения в 2 раза) и уменьшением скорости сканирования объекта в среднем в 2–3 раза [10,11] (что сказывается на потоковой производительности комплекса, при прочих равных условиях).

Однако современные математические методы обработки изображений позволяют улучшить пространственное разрешение для досматриваемых объектов до приемлемых значений. В то же время потоковая производительность комплекса имеет относительно малый вклад в общую производительность комплекса, поскольку фактически полное время досмотра грузового автомобиля 5…10 мин, включая заезд-выезд в зону контроля, оформление документов, непосредственно сканирование, анализ изображения оператором комплекса, возможно и повторное сканирование подозрительных областей объекта. Для получения качественного теневого изображения объекта длиной порядка 20 м время сканирования варьируется в пределах 1…2 мин для линейного ускорителя и 2…3 мин для бетатрона. Исходя из всего вышесказанного можно сделать вывод, что бетатрон является одним из наиболее предпочтительных источников излучения для применения в мобильных и передвижных досмотровых комплексах.

В последнее время производители досмотровых комплексов все чаще используют бетатроны в мобильных системах.

В НИИ интроскопии имеется большой опыт по созданию источников тормозного излучения для радиометрических и дефектоскопических систем. В НИИ разработаны и производятся различные бетатроны для досмотровых систем, основные характеристики которых показаны в таблице 1.

1. Характеристики бетатронов, предназначенных для применения в досмотровых комплексах

Технические характеристики	МИБ-3 (Heimann)	МИБ-5	МИБ-7,5	МИБ-9
Максимальная энергия ускоренных электронов, МэВ, не менее	3	5	7,5	9
Диапазон регулировки энергии ускоренных электронов, МэВ	1...3	2...5	2...7,5	2...9
Мощность дозы тормозного излучения на расстоянии 1 м от мишени при максимальной энергии, Р/мин, не менее	2	4	5	20
Частота следования импульсов излучения, Гц	400	400	200	400
Максимальные размеры фокусного пятна, мм	0,25×2	0,25×2	0,25×2	0,25×2
Максимальная потребляемая мощность из сети переменного тока частотой 50 Гц при напряжении 220 В, кВт	2	3	3	5
Масса блоков бетатрона, кг, не более:				
излучатель	57	100	107	150
блок питания и управления	54	56	62	88+13
пульт управления	0,36	0,36	0,36	0,5

К настоящему времени НИИ интроскопии изготовил и поставил фирме Smith Heimann более 100 малогабаритных бетатронов на энергию 3 МэВ. Мобильные досмотровые системы Silhouette Scan Mobile CaB 2000 с этим источником излучения, производство которых было начато в 2002 г., успешно работают во многих странах мира [3].

Американская фирма SAIC (Science Applications International Corporation) разработала досмотровую систему VACIS® P 7500 [5], в которой в качестве излучения используется бетатрон на энергию 7,5 МэВ.

Помимо разработки источников излучения в НИИ интроскопии ведутся работы по созданию досмотровых комплексов. Совместно с Московским государственным институтом радиоэлектроники и автоматики (МИРЭА) сформулированы технические требования к источнику излучения [12] и детекторной линейке, создан опытный образец системы [13] для досмотра транспортных средств, на котором проведен комплекс работ по определению технических характеристик досмотрового комплекса, получены изображения объекта – грузового автомобиля. Разработанная МИРЭА и НИИ интроскопии система имеет технические характеристики на уровне лучших зарубежных аналогов. Сравнительная таблица характеристик досмотровых комплексов приведена в табл. 2.

2. Сравнительные характеристики досмотровых комплексов

Технические характеристики	VACIS® P 7500 Inspection System (Science Applications International Corp. США)	Silhouette Scan Mobile CaB 2000 (Smith Heimann, Германия)	HCV-Mobile (Smith Heimann, Германия)	DRS Cargo-Scan 5000M («Адани», Беларусь)	Опытный образец (НИИИН, МИРЭА, Россия)
Максимальная толщина проникновения по стали, мм	270	110	180 (270)	300	200
Разрешение, мм	12,7	3	3	2,5	4,5
Чувствительность, %	3	Нет данных	Нет данных	3	2
Скорость сканирования, м/с	3	1	0,2	0,4	0,3
Источник излучения	7,5 МэВ бетатрон	3 МэВ бетатрон	3(4) МэВ линейный ускоритель	5 МэВ бетатрон	5 МэВ бетатрон
Доза, получаемая объектом за время контроля, мР	0,2	0,15	5 (10)	Нет данных	Менее 0,4
Исполнение	Стационарный/ передвижной	Мобильный	Мобильный	Мобильный	Стационарный/ передвижной

В таблице выборочно представлены технические характеристики мобильных и передвижных досмотровых комплексов. Передвижной досмотровый комплекс по своей сути является стационарным, но спроектирован таким образом, что все его компоненты можно перемещать посредством автомобильного транспорта, т.е. по своим характеристикам он идентичен мобильным. Как видно из таблицы, системы, использующие в качестве источника излучения бетатрон, мало чем уступают досмотровому комплексу, использующему линейный ускоритель. Существует также много разновидностей мобильных досмотровых комплексов, где в роли источника выступают радиоактивные изотопы Co^{60} и Cs^{137}, но они имеют гораздо худшие технические характеристики, к тому же наблюдается общая тенденция к отказу от использования изотопов, и в этом случае бетатрон является хорошей альтернативой.

Еще одной отличительной особенностью бетатрона является возможность регулировки энергии ускоренных электронов, что позволяет создавать системы с дуальной энергией.

Совместными усилиями НИИ интроскопии и МИРЭА начата разработка системы досмотра с получением изображения в нескольких энергетических диапазонах, которая позволит идентифицировать материалы по их плотности и атомному весу, что существенно расширит возможности досмотрового комплекса по обнаружению наркотических и взрывчатых веществ.

Подводя итог, можно сказать, что применение бетатронов в качестве источника излучения в досмотровых комплексах дает отличные результаты и имеет немало перспектив, а при использовании в мобильных вариантах подобных систем бетатроны являются оптимальным выбором.

Литература

1. http://niiefa.spb.su/res/stc/luts/indexr.html
2. http://www.eideticscorp.com/THScan/summary.htm
3. http://www.smith-heimann.de
4. http://www.rapiscansystems.com/
5. http://www.saic.com
6. http://www.adani.by/prod_cargoscan.php
7. http://www.dosmotr.ru
8. http://www.vividusa.com/products/cargoscreen.htm
9. **Сидуленко О.А., Касьянов В.А., Касьянов С.В., Осипов С.П.** Выбор и оценка параметров систем досмотрового контроля крупногабаритных объектов / Мат-лы XVII Рос. науч.-техн. конф. Неразрушающий контроль и диагностика (Электронный ресурс). Екатеринбург**: ИМАШ УрО РАН, 2005. Электрон. оптич. диск. Статья № Д 133**
10. **Сидуленко О.А., Касьянов В.А., Касьянов С.В., Осипов С. П.** Методика оценки производительности досмотрового комплекса для контроля крупногабаритных объектов // Контроль. Диагностика. 2005. № 12. С. 75–83.
11. **Касьянов В.А., Касьянов С.В., Осипов С.П.** Особенности регистрации высокоэнергетического тормозного излучения в досмотровом контроле // Датчики и системы. 2006. № 3. С. 10–13.
12. **Чахлов С.В., Касьянов В.А., Касьянов С.В. и др.** Макет установки для рентгеновского контроля крупногабаритных объектов // Тр. 54 научно-технической конференции МИРЭА, Москва, 16-25 мая 2005 г. М., 2005. С. 46
13. **Лебедев М.Б., Усачев Е.Ю., Чумаков Д.М. и др.** Установка для рентгеновского контроля крупногабаритных объектов (грузовых и легковых автомобилей, контейнеров для морских и авиаперевозок) // Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности: мат. 6-й Междунар. конф., Москва, 15-–17 мая 2007 г. М.: Машиностроение, 2007. С. 69–71.

37. **МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОБРАЗЦОВ С ТРЕЩИНАМИ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ**

Глазков Ю.А., ФГУ «13 ГНИИ Минобороны России»,
Люберцы, Московской обл., Россия

При капиллярном контроле деталей контрольные образцы с трещинами применяют: для оценки работоспособности дефектоскопических материалов, для установления основных технологических приемов и режимов капиллярного контроля, для оценки чувствительности технологий контроля, для определения их пригодности к использованию в различных климатических условиях, для проверки правильности исполнении дефектоскопистами технологии контроля, для учебных и других целей. В большинстве случаев, за исключением оценки чувствительности технологий контроля, не требуется знание точных размеров трещин на образцах. Применяют контрольные образцы в виде забракованных деталей с мелкими трещинами или изделий с преднамеренно образованными трещинами раскрытием от 0,01 до 0,0001 мм. Образцы подвергают аттестации. Размеры трещин измеряют при температуре 20 ± 5 °С, относительной влажности воздуха 58 ± 20 %, при отсутствии вибрации микроскопа и пониженном уровне шума в лаборатории. Измерения должен проводить оператор без патологических изменений органа зрения и остротой зрения каждого глаза не менее 0,9.

Измерение глубины трещин выполняют с применением бинокулярного стереоскопического микроскопа типа МБС-2, МБС-9 или МБС-10 при увеличении 16 крат. При изготовлении и аттестации образцов, трещины на которых получены в азотированном, цементируемом, алитированном слое или в слое хрупкого химического либо электрохимического покрытия, за глубину трещин принимают толщину упрочненного слоя или покрытия.

Ширину трещин измеряют на металлографическом микроскопе типа Neofot, Polyvar Met или другом при увеличении 1500…2000 крат. На образцах, предназначенных для проверки работоспособности дефектоскопических материалов и для других целей, измерение ширины трещин выполняют не менее чем в пяти точках. При этом определяют средне-

арифметическое значение раскрытия каждой трещины. Целесообразно также рассчитывать среднюю квадратичную погрешность результата серии измерений, а ширину трещин указывать с погрешностью измерений при доверительной вероятности 0,95.

На образцах, предназначенных для оценки порога чувствительности технологии контроля, ширину трещин требуется знать точнее. Как правило, трещины имеют хотя бы небольшие изломы, изгибы и непостоянную ширину. Выявляемость трещин зависит от конфигурации их устья на поверхности образца и от конфигурации по сечению. Она всегда разная на прямых и изломанных участках трещин. Поэтому на таких образцах целесообразно: измерять ширину трещин в 30…60 точках через каждые 0,15…0,30 мм, определять среднеарифметическое значение, рассчитывать среднюю квадратичную погрешность результата серии измерений и ширину трещин указывать с погрешностью измерений при доверительной вероятности 0,95. Кроме того, целесообразно определять характеристику рассеивания значений ширины трещины с помощью коэффициента вариации, а также рассчитывать преимущественную ширину трещин, как средневзвешенное значение результатов идущих подряд близких друг другу значений, каждое из которых в группе повторяется 5-8 и более раз, суммарное количество которых составляет 60 % и более от общего количества измерений.

При использовании образцы нецелесообразно подвергать периодическим метрологическим поверкам, так как они не являются средствами измерений. Кроме того, при таких поверках не может быть оценено состояние полостей трещин, которые постепенно заполняются неудаляемыми следами дефектоскопических материалов и продуктами коррозии. Качество образцов должны оценивать специалисты, которые с ними работают: дефектоскописты, технологи, производственные и контрольные мастера.

38. **ОРГАНИЗАЦИЯ НАДЗОРА ЗА СОСТОЯНИЕМ СРЕДСТВ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Лисицын В.И., Туробов Б.В., Королев М.В., Лукьяненко Э.А., Глотов Д.А.,
ЗАО «МНПО «Спектр», Москва, Россия

В докладе рассматриваются процедуры сертификации, аттестации средств неразрушающего контроля (СНК) и получения разрешения в Ростехнадзоре на их применение на опасных производственных объектах, подконтрольных Ростехнадзору. Эти процедуры возникали в разное время в соответствии с уровнем требований, предъявляемых к СНК. Реализация этих процедур предполагала экспертизу документации и соответствующее испытание рассматриваемого СНК.

Сертификация СНК проводится Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии или организациями, уполномоченными агентством на эту деятельность. При этом СНК, являющиеся средствами измерений (СИ) и занесенные в Государственный реестр СИ, подлежат обязательной сертификации на утверждение типа, которая завершается выдачей соответствующего сертификата и разработкой методики периодической поверки сертифицированного на тип СНК.

Если СНК, являющиеся СИ, не занесены в Государственный реестр СИ и, следовательно, не подлежат обязательному Государственному надзору, то они сертифицируются на соответствие в Системе добровольной сертификации Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии. По результатам сертификации выдается сертификат и методика калибровки соответствующего СИ.

Для надзора за СНК, не являющимся СИ, Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии зарегистрировало Систему добровольной сертификации СНК на соответствие, владельцем которой является Российское Общество по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД). В этой системе «МНПО «Спектр» аккредитовано как независимый орган по сертификации СНК. Эта сертификация включает в себя подтверждение научно-технического уровня СНК не ниже ближайших аналогов и установление

соответствия заявленного СНК характеристикам назначения по паспорту или техническим условиям. Сертификация заканчивается оформлением сертификата соответствия и выдачей методики проверки работоспособности сертифицированного СНК.

Однако применение СНК на опасных производственных объектах (ОПО), подконтрольных Ростехнадзору, вне зависимости от принадлежности к СИ, требует обоснованного ответа на вопрос о применимости рассматриваемого СНК к контролю технических устройств, зданий и сооружений, используемых и эксплуатируемых на ОПО. Анализ применимости СНК является предметом процедуры, называемой аттестацией средства неразрушающего контроля в рамках Единой системы оценки соответствия (ЕС ОС). Участниками этой системы являются РОНКТД, НТЦ «Промышленная безопасность», Ростехнадзор и заинтересованные отраслевые организации. В ЕС ОС кроме средств неразрушающего контроля аттестовываются персонал, методики и лаборатории неразрушающего контроля, дееспособность которых и определяется квалификацией персонала, научно-техническим уровнем применяемых средств неразрушающего контроля и содержательностью методик контроля ОПО.

Таким образом, сертификация и аттестация СНК не являются взаимно исключающими или заменяющими процедурами, а наоборот, взаимно дополняют содержательность оценки СНК и надзор за его состоянием.

Но описанные процедуры не исчерпывают процесс организации надзора за СНК. Завершающим этапом является получение разрешения в Ростехнадзоре на применение средства неразрушающего контроля на ОПО. При этом учитываются результаты сертификации и аттестации СНК.

В докладе также обсуждаются критерии отнесения СНК к средствам измерений и предлагается для обсуждения ориентировочная схема разделения СНК на средства измерений и индикаторные средства неразрушающего контроля.

39. AUTOMATED CONDITION ASSESSMENT OF BOILER WATER WALL TUBES USING REMOTE FIELD TECHNOLOGY. «A REVOLUTION OVER TRADITIONAL AND EXISTING TECHNIQUES»

Ankit Vajpayee, Russell NDE Systems Inc., Edmonton, Canada

Boiler tube failures continue to be the leading cause of forced outages in boilers. To get your boiler back on line and reduce or eliminate future forced outages due to tube failure, it is extremely important to determine and correct the root cause. Detecting flaws before they cause failures is of critical importance in boiler maintenance. Localized wall thinning due to corrosion in boiler water-wall tubing is a significant inspection concern for boiler operators.

There are at least (4) other methods used for the inspection of Boiler Water walls. These methods are Spot Check UT, A-Scan UT, EMAT, and Scanning Thermograpy. Spot Check UT only gives thickness readings and gets very minimal coverage of the total surface area of the furnace water walls; the chances of finding I.D. flaw mechanisms using Spot Check UT are minimal at best. If Boiler Water walls have been sandblasted, A-Scan UT may be used to inspected larger areas of the furnace walls; in these cases, a steady flow of water is most often used as the couplant. The EMAT technique requires that any Boiler Water wall surfaces be sandblasted. The EMAT technique does not inherently get good surface area coverage unless the inspection team does multiple passes using the EMAT probe. Scanning Thermography is the most recent development for the inspection of Boiler Water walls; however, it is not yet commercially available in enough capacity.

This paper will present a discussion on the deployment of robotic wall crawler using electromagnetic technique to inspect boiler water walls from outside of the tube coupled with the theoretical background of the technique which explains the quantitative nature of the inspection.

Further, a case study will be presented for the technique that allows the extraction of thickness information from the inspection data.

40. **ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТРУБ И СОЕДИНЕНИЙ МЕЖПРОМЫСЛОВЫХ НЕФТЕПРОДУКТОПРОВОДОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ НИЗКИХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ТЕМПЕРАТУР**

Климов В.В., Рожемберская Г.Ю., Волчков В.Д., Антипин В.В.,
ОАО «ИркутскНИИхиммаш», Иркутск, Россия

В докладе приведены результаты исследования качества и технического диагностирования труб и соединений сборно-разборного полевого магистрального трубопровода.

В связи с бурным развитием в Иркутской области нефтедобывающей отрасли остро встал вопрос мобильного развертывания внутрипромысловых и межпромысловых нефтепродуктопроводов. От скважин с небольшим дебитом до пунктов сбора нефти экономически невыгодно строить капитальные нефтепроводы, поэтому нефтяные компании ищут альтернативные варианты для транспортировки продукции. Объектом исследования явились трубы и соединения сборно-разборного полевого магистрального трубопровода условным диаметром 150 и 200 мм, используемые в качестве межпромыслового нефтепродуктопровода для транспортировки нефти и нефтепродуктов на большие расстояния в естественных климатических условиях в диапазоне температур от –58 °С до + 50 °С.

Для подтверждения безопасности и надежности при эксплуатации трубопроводов такого типа и появилась необходимость проведения комплексного полномасштабного исследования качества их труб и соединений.

Была разработана и изготовлена уникальная экспериментальная установка (патент № 2327129), на которой проведены исследования полномасштабных моделей (сборок) длиной 12 м из двух труб и их соединений. Исследования проводили на растяжение, изгиб и на ударные нагрузки. Экспериментальная установка представляет собой жесткую раму коробчатой конструкции длиной около 15 м. На раме смонтировано оборудование для проведения различных видов исследований: домкрат, развивающий усилие сжатия или растяжения 200 тс; каретка для удержания оголовка сборки, с помощью которой трубы растягивают или сжимают; два домкрата с обеих сторон установки усилием по 20 тс для испытаний труб на изгиб; система охлаждения и теплоизолированные контейнеры для исследований труб при низкой температуре – криогенные испытания (до –60 °С); вертикальная восьмиметровая направляющая труба, в которой устанавливается груз массой 730 кг для нанесения удара по соединению труб с энергией в 35 кДж.

Перед началом криогенных исследований в лаборатории металловедения были изучены химический состав и прочностные свойства материала труб и соединительных элементов трубопровода при нормальной и низкой температурах.

Прочностные и пластические характеристики металла стенки труб удовлетворяют требованиям ГОСТ 20295–85, регламентирующего требования к трубам, применяемым для сооружения трубопроводов, транспортирующих природный газ, нефть и нефтепродукты. Материал раструбов и манжет по сравнению с материалом стенки труб имеет более низкие численные значения предела текучести. Результаты исследований материала труб и соединительных деталей свидетельствуют об отсутствии признаков деградации (изменения свойств) в процессе их длительного хранения.

Металл продольных сварных швов и собственно труб имеют идентичные прочностные характеристики. Прочностные характеристики материала кольцевых сварных швов приварки соединительных деталей к трубам ниже прочности соединяемых деталей. При температуре – 58 °С ударная вязкость KCV металла стенки труб имеет высокие значения, материала стенки раструбов и манжет – низкие значения.

Комплексные исследования ударной вязкости KCV (по методу Шарпи) металла соединительных деталей и сварных швов в температурном интервале от –58 до + 20 °С с определением величины вязкой составляющей в изломе и наибольшего поперечного расширения показали, что регламентируемая нормами СНиП 2.05.06–85 величина удар-

ной вязкости (24,5 Дж/см^2) в материале этих деталей достигается при температурах, значительно превышающих –58 °С.

При испытании на ударную вязкость металла образцов с U-образным надрезом (по методу Менаже) при температуре –58 °С получены результаты, удовлетворяющие требованиям СНиП 2.05.06–85 (табл. 22). Металл соединительных деталей (раструбов и манжет) при температуре –58 °С имеет низкое значение ударной вязкости, низкое сопротивление образованию и развитию трещин и, соответственно, высокую чувствительность к концентраторам напряжений технологического и конструктивного происхождения.

Исследования должны были подтвердить или опровергнуть работоспособность устройства в сборе при взаимном влиянии элементов.

При нагружении труб внутренним давлением определяли допустимые нагрузочные характеристики или ограничения на уплотнение, соединение и металл труб при одновременном воздействии на модель низкой температуры (–58 ± 3 °С), внешних нагружающих факторов (растяжение, изгиб, удар) и внутреннего рабочего давления. Проведены исследования моделей на максимальную нагрузку при низкой температуре:

– растяжение 5 моделей из двух труб под внутренним давлением;

– изгиб 6 моделей из двух труб под внутренним давлением;

– испытание 5 моделей из двух труб максимальным внутренним давлением до разрушения;

– испытание 5 моделей из двух труб на ударную нагрузку.

Результаты криогенных исследований труб и их соединений с нагрузкой внутренним рабочим давлением в моделях до 5,0 МПа показали, что модели, изготовленные из труб с двухсторонним проваром, выдержали:

– осевую растягивающую нагрузку усилием от 124,77 тс до 128,63 тс;

– испытание на изгиб при изгибающей нагрузке от 1,93 до 3,29 тс;

– внутреннее давление до разрушения от 18,1 до 20,7 МПа.

– испытание ударом энергией 35 кДж и последующее нагружение внутренним давлением в 15,0 МПа без разрушения и явных отклонений от правильной геометрической формы элементов моделей

Модели, изготовленные из труб с односторонним проваром:

– разрушились при осевой растягивающей нагрузке 83,5 тс и 99,1 тс по кольцевому сварному шву приварки трубы к манжете;

– выдержали испытания при действии изгибающей нагрузки в 1,78 и 3,76 тс и внутреннем давлении 5,33 и 5,49 МПа, соответственно;

– разрушились при внутреннем давлении 18,9 и 19,3 МПа по одностороннему кольцевому сварному шву приварки трубы к манжете.

Несмотря на то что металл соединительных деталей (раструбов и манжет) при температуре –58 °С имеет низкие значения ударной вязкости, низкое сопротивление образованию и развитию трещин и, соответственно, высокую чувствительность к концентраторам напряжений технологического и конструктивного происхождения, положительные результаты натурных испытаний труб и их соединений при такой температуре свидетельствуют о том, что в соединениях в собранном виде возникают небольшие напряжения, не способные стимулировать хрупкое разрушение.

В результате технического диагностирования и исследования качества сборно-разборного трубопровода при пониженной температуре подтверждена возможность использования труб с двухсторонним проваром для строительства временных промысловых и межпромысловых трубопроводов.

Результаты камеральных исследований, а также техническое диагностирование эксплуатирующихся более пяти лет межпромысловых трубопроводов общей протяженностью около 140 км подтвердили их достаточно высокую надежность и безопасность при эксплуатации.

СТЕНДОВЫЕ ДОКЛАДЫ

С.1. МЕТОДИКА КОНТРОЛЯ КОЛЬЦЕВЫХ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА

Дубов А.А., Колокольников С.М., Собранин А.А., Миляев А.И.,
ООО «Энергодиагностика», Москва, Россия

В настоящее время для контроля кольцевых сварных швов магистральных газопроводов, бывших в длительной эксплуатации, используются методы рентгенографии, ультразвуковой контроль и результаты внутритрубной диагностики (ВТД). В полевых условиях выполняется, как правило, выборочный контроль монтажных кольцевых швов. Заводские кольцевые швы практически не контролируются, так как считается, что они имеют более высокое качество по сравнению с монтажными швами.

Однако после длительной эксплуатации газопроводов при выполнении капитального ремонта и в процессе их переизоляции требуется выборочный неразрушающий контроль (НК) не только монтажных, но и отдельных заводских стыков. Особенно важен такой контроль на отводах, перемычках и везде, где не может использоваться ВТД. После длительного периода эксплуатации и производства других «вскрышных» работ, когда есть необходимость оставить старые трубы в эксплуатации на дальнейший длительный период, представляется необходимым обеспечить НК зон термического влияния шва (ЗТВ), в которых наиболее вероятно развитие повреждений.

В указанных условиях применение рентгенографического и ультразвукового контроля для выполнения даже выборочного НК «старых» заводских и монтажных кольцевых сварных соединений является трудоемким, а для отдельных угловых тройниковых соединений (на отводах, перемычках и т.д.) – практически не выполнимым.

В этих условиях предпочтительно применение физического метода, позволяющего определять качество сварных соединений в режиме экспресс-контроля и без подготовки поверхности. К таким методам НК относится метод магнитной памяти металла (МПМ), который в настоящее время получает все большее распространение на практике. В настоящее время метод МПМ, используя естественную намагниченность металла в процессе сварки, позволяет выполнять предварительную экспресс-сортировку сварных швов по принципу «удовлетворительно» и «неудовлетворительно».

По результатам такой предварительной сортировки определяются сварные соединения, которые необходимо дополнительно проконтролировать рентгеном или ультразвуком и указываются зоны с максимальными дефектами.

Кроме того, отличием метода МПМ от других методов НК является то, что он определяет концентрацию напряжений на дефектах, т.е. дает оценку степени их опасности для развития повреждений и общую оценку напряженно-деформированного состояния (НДС) сварных соединений газопроводов.

В 2008 г. по договору с ООО «Газпром трансгаз Томск» специалистами ООО «Энергодиагностика» разработана «Методика контроля кольцевых сварных соединений магистральных газопроводов, бывших в эксплуатации, методом магнитной памяти металла».

Методика согласована с департаментом по транспортировке, подземному хранению и использованию газа ОАО «Газпром» и может быть использована при выполнении ремонтных работ на магистральных газопроводах.

С.2. МЕТОДИКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ТРЕХМЕРНЫХ ДЕФЕКТОВ В КОМПОЗИТНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ТЕПЛОВОГО НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ

Николаев А.А., МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

В докладе представлена общая концепция разработанной методики вычислительной диагностики трехмерных дефектов в композитных элементах конструкций на основе теплового неразрушающего контроля, приведены примеры работы разработанного на основе данной методики программно-математического комплекса с элементами (в том числе композитными) конструкций, содержащими дефекты.

Традиционная задача теплового неразрушающего контроля заключается в определении по одному температурному полю объекта контроля геометрических характеристик и положения дефектов. На сегодняшний день большинство экспертных систем представляет собой тесный симбиоз между программно-аппаратным комплексом и хорошо обученным и имеющим значительный опыт техническим специалистом. При таком симбиозе заказчик исследования может полагаться только на опыт технического специалиста и получать в качестве отчетной информации местоположение дефектов и их приблизительную форму в плоскости. Вопрос об определении достаточно точной формы дефекта в трехмерном понимании и определение глубины залегания дефекта при таком подходе может стоять весьма условно. Решением, снимающим данный вопрос, может быть предложенная в данном докладе методика распознавания трехмерных дефектов.

Методика распознавания трехмерных дефектов в композитных элементах конструкций. Предпосылками данной методики по определению реальной трехмерной геометрии дефектов в элементах конструкций стали значительные успехи в развитии теории распознавания и работы с изображениями, численного моделирования процессов теплопередачи в телах и технической диагностики. Основной идеей разработанной методики распознавания трехмерных дефектов является определение меры схожести имеющегося температурного поля диагностируемого образца с температурным полем трехмерной модели, полученной путем численного моделирования задач теплопроводности. Сама трехмерная модель объекта контроля в начальный момент исследования предполагает отсутствие дефектов.

Общая концепция разработанной методики вычислительной диагностики трехмерных дефектов состоит из: 1) методики распознавания плоскостных геометрических параметров дефектов (методика распознавания контуров дефектов), решающей задачу приближенного нахождения с заданной точностью формы дефектов и их положение в плане; 2) методики распознавания трехмерных дефектов в элементах конструкций, в том числе из композитных материалов, основанные на численном решении трехмерной задачи теплопроводности и решении задачи нахождения дефекта, имеющего максимальную схожесть с реальным; 3) методики распознавания формы трехмерных дефектов, основанную на сравнении найденной формы дефекта с классами «идеальных» форм дефектов.

На данный момент наиболее информативной характеристикой, позволяющей оценивать схожесть двух изображений температурных полей, является так называемая процентная невязка для каждой точки цифрового матричного изображения и вычисляемая по формуле $\eta(x,y) = 1 - \frac{T_{\text{численного решения}}}{T_{\text{эксперимента}}}$. Получающееся поле процентной невязки по-

Рис. 1. Исследуемый композитный образец и температурное поле, снятое термографом

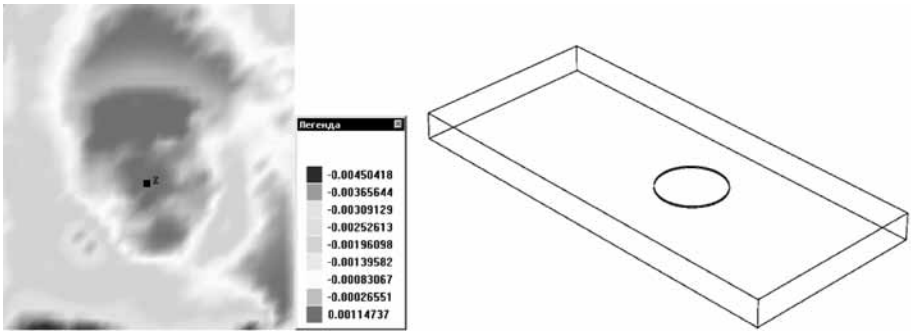


Рис. 2. Полученное поле температурной невязки и геометрическая модель половины пластины с распознанным дефектом

верхности измерения характеризует точность определения реальной формы дефекта и его положение по глубине. Путем варьирования параметров, отвечающих за геометрическую форму дефектов, и автоматически-осмысленного многократного решения трехмерной задачи нестационарной теплопроводности, повторяющей условия физического эксперимента с последующим автоматическим анализом полей процентной невязки, достигается получение оптимального решения, т.е., иными словами, получение формы дефекта наиболее приближенной к реальной.

Результаты применения разработанного программно-математического комплекса. Разработанный автором доклада программно-математический комплекс прошел апробацию на ряде моделей. Диагностируемый образец с распределением температурного поля приведен на рис. 1, поле процентной невязки для возможного дефекта, имеющего максимальную меру схожести с реальным дефектом, и геометрическая модель половины пластины с распознанным дефектом на рис. 2.

Выводы. Разработанная методика определения характеристик внутренних дефектов в совокупности с профессиональными техническими средствами теплового неразрушающего контроля открывают новые перспективы решения задач текущего технического состояния и задач обоснованного прогнозирования долговечности объектов контроля.

Автор выражает благодарность директору по науке ООО «Технологический институт энергетических обследований, диагностики и неразрушающего контроля «ВЕМО» д-ра техн. наук О.Н. Будадину за внимание к работе и помощь в получении реальных изображений температурных полей объектов диагностирования.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 07-08-00574-а.

С.3. **КАЛИБРОВКА СИСТЕМ ИЗМЕРЕНИЯ НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО ТОКА МАГНИТОПОРОШКОВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ**

Лисицын В.И., Шелихов Г.С., ЗАО «МНПО «Спектр», Москва, Россия;
Глазков Ю.А., ДНТЦ «Дефектоскопия», Москва, Россия

Магнитопорошковые дефектоскопы не являются средствами измерений. Они не имеют ни одного признака, присущего средствам измерений, не имеют измерительного назначения, поэтому не подлежат периодическим метрологическим поверкам. Но, как правило, они имеют встроенные специализированные системы измерения намагничивающего тока. При этом амперметры функционально связаны с другими элементами дефектоскопов и входят в их своеобразные измерительные системы. Эти системы как средства измерений используемые по прямому назначению, должны подвергаться первичному и периодическому метрологическому контролю. Их метрологические исследования должны проводиться без съема, без извлечения из конструкции дефектоскопов. Иначе это может приводить к большим погрешностям в оценке метрологических свойств указанных средств измерений, а иногда к их повреждению вследствие ошибок при выполнении демонтажных и монтажных работ.

При калибровке системы подтверждают ее пригодность к применению, устанавливают относительную погрешность измерения намагничивающего тока, при необходимости определяют поправки к ее показаниям. Для этого последовательно с намагничивающим устройством подключают измерительный шунт, измерительные клеммы которого соединяют с электронным осциллографом. По осциллографу определяют напряжение на шунте и рассчитывают силу тока, прошедшего по шунту. Это значение силы тока принимают за истинное. Фактически это не истинное, а действительное значение тока. Но оно настолько близко к истинному, что для данных целей измерения может быть использовано вместо истинного. Показание тока на цифровом индикаторе (амперметре) дефектоскопа принимают за измеренное значение. Вычисляют относительную погрешность измерения трех разных значений намагничивающего тока, равных 30, 50 и 70 % максимального значения, указанного в технических условиях на дефектоскоп, в его паспорте либо в инструкции по эксплуатации дефектоскопа. Все измерения выполняют не менее 2 раз. Для каждого значения тока за результат измерений принимают среднее арифметическое полученных отсчетов в каждой точке.

Средняя относительная погрешность измерения намагничивающего тока в каждой точке не должна превышать 10 %. При погрешности измерения в пределах 5…10 % определяют поправку к показаниям системы измерения намагничивающего тока. При меньшей погрешности поправки не используют.

Если в системе измерения намагничивающего тока дефектоскопа, предназначенного для намагничивания деталей переменным или импульсным током, используется амперметр, определяющий действующее значение тока либо среднее значение тока, за полупериод, то при калибровке системы измерения тока указанный прибор градуируют по амплитудному значению тока либо отрабатывают поправочную таблицу (график).

С.4. «**KOWOLUX X3 – НЕГАТОСКОП НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**»

Мартынов С.А., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия;
Хёрауф Ф., «КОВОТЕСТ ГмбХ», Лангенфельд, Германия

В докладе представлен материал о новейшем поколении негатоскопов – «KOWOLUX», обеспечивающих лучшие инспекционные возможности при просмотре и расшифровке рентгеновских снимков по сравнению с приборами, используемыми до настоящего времени.

Негатоскоп «KOWOLUX X3» разработан с новейшей POWER-LED-техникой.

При высокой яркости 155000 кд/м² электрическая мощность составляет всего 500 Вт вместо 3000 Вт по сравнению с прежними дефектоскопами такого же размера с галогенными лампами.

Экономия электроэнергии составляет 2500 кВт/ч в год или приблизительно 5925 руб. (при 8-часовой ежедневной загрузке, 250 рабочих днях в год и продолжительности включения 50 %) и 100 000 кВт/ч на весь период срока службы – что составило бы 237 000 руб. в расчете на настоящие цены на электроэнергию, то есть приблизительно 2 руб. 37 коп. за кВт/ч.

С учетом дополнительных расходов на замену галогенных ламп более высокая стоимость прибора по сравнению с прежними дефектоскопами окупается в течение 2 лет.

Основными преимуществами являются:

– более контрастная оценка рентгеновских пленок вследствие белого освещения;

– сокращение выделения тепла на 85 %;

– бесшумная работа прибора за счет температурно-регулируемого вентилятора;

– отсутствие необходимости замены ламп (срок службы LED составляет 40 000 ч – при полной 8-часовой загрузке, это приблизительно 20 лет);

– р/пленка может находиться на освещенном поле экрана полный рабочий день без проявления деформаций.

Негатоскоп «Kowolux X3»

Технические характеристики

Яркость, max, кд/м² ……	155000	Световой поток	64 × 300 лм (19 200 лм)
Затемнение пленки, max	4,2 Б по EN 25580 ISO 5580	Номинальная мощность, Вт ……. Количество светодиодов ...	500 64
Поверхность освещения: для пленок ……	45 × 80 см 10 × 48 см	Материал корпуса ……	Коррозионно-стойкая сталь
Электропитание, В ……..	100…240 AC / 47…63 Гц	Срок службы, ч ……..	40 000

С.5. НЕРАЗРУШАЮЩАЯ ДИАГНОСТИКА СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРИ ОСТЫВАНИИ ШВА

Куров Д.А.
Институт проблем механики
им. А.Ю. Ишлинского РАН, Москва, Россия

Предложен экспериментально-теоретический подход для определения остаточных сварочных напряжений непосредственно после изготовления шва, использующий измерения температуры шва и околошовной зоны при остывании шва. В качестве начального распределения температуры для формирования остаточных напряжений принимается температура затвердевания шва. Так как остывание шва происходит от более высоких температур, то вначале строится закон остывания сварного соединения без подключения уравнений термоупругости, а затем производится совместное решение уравнений теплопроводности и термоупругости для определения формирующихся при остывании шва остаточных напряжений.

В качестве математической модели остывания сварного соединения используются решения [1] одномерных уравнений теплопроводности по наружной и внутренней поверхностям сварного соединения поперек шва на интервале $x \in [-l/2, l/2]$, много большем ширины шва:

$$T_j(x,t) = \sum_{n=1}^{\infty}\left(\frac{2}{l}\int_{-l/2}^{l/2}\varphi_j(\xi)\cos\left(\frac{\pi(2n+1)}{l}\right)d\xi\right)e^{-\left(\frac{\pi(2n+1)}{l}\right)^2 a^2 t}\cos\left(\frac{\pi(2n+1)}{l}x\right),\ j=1,2. \qquad (1)$$

где φ_j – начальные функции распределения температуры по наружной и внутренней поверхностям сварного соединения; a – коэффициент температуропроводности, t – время.

Начальные функции распределения температуры поперек шва берутся в момент его затвердевания в виде:

$$\varphi_j(x) = T_0\, e^{-\beta_j x^2}. \qquad (2)$$

В качестве T_0 принимается температура разупрочнения шва, равная, например, для стали 600 °С, ниже которой материал сварного соединения работает в упругой стадии и, вследствие сохраняющегося неравномерного распределения температуры при остывании накапливает остаточные напряжения [2]. Величины β_j определяются по измерениям температуры в околошовной зоне.

Для определения напряжений, возникающих при остывании шва и околошовной зоны, используются известные соотношения термоупругости [3]. Ограничимся здесь моделью кольцевой сварки труб, которая приводит к напряженно-деформированному состоянию с распределениями напряжений [3]:

$$\sigma_x(x,t) = -\frac{Eha}{2(1-\nu^2)}\left[\frac{1+\nu}{h}(\Delta T_1 - \Delta T_2) + \frac{R}{2}\frac{d^2}{dx^2}(\Delta T_1 + \Delta T_2)\right],\ \Delta T_j = T_j(x,t) - T_j(x,0), \qquad (3)$$

где E – модуль упругости; ν – коэффициент Пуассона; α – коэффициент линейного расширения; R – радиус труб.

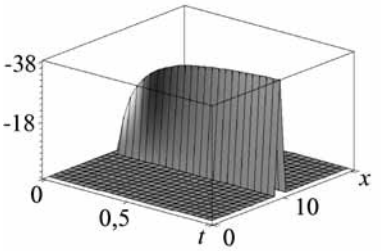


Рис. 1

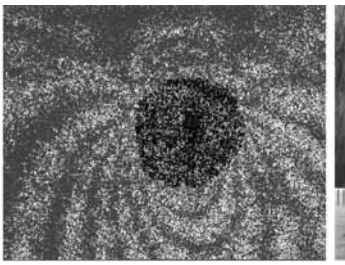


Рис. 2

Рис. 3

На рис. 1 представлено накопление остаточного напряжения (в мегапаскалях по оси ординат) при остывании шва от 600 до 220 °С. Видно, что при этом напряжения достигают величины 40 МПа и при дальнейшем остывании шва практически не имеют тенденции к увеличению.

Последующее измерение напряжений электронным спеклинтерферометром «ЛИМОН-ТВ» с помощью высверливания зондирующего отверстия [4] показало наличие остаточных напряжений, близких к расчетным, через распределение линий уровня микроперемещений в окрестности этого отверстия, показанных на рис. 2.

В развитие этой методики предложен вариант построения начального распределения температуры окрестности шва с использованием универсального и длительное время сохраняющегося признака – распределения цветов побежалости, возникающих при окислении в результате термической обработки металлов. На рис. 3 приведена фотография участка сварного шва, на которой видны линии побежалости, идущие параллельно сварному шву. Наиболее ярко проявляется темно-синяя линия, соответствующая уровню максимального нагрева металла на этой линии в 300 °С [5]. Тем самым расположение линий цветов побежалости относительно оси шва позволяет получить начальное распределение температуры в окрестности шва фактически без ее измерения. Построена математическая модель, связывающая расположение цветов побежалости с геометрическими и механическими параметрами свариваемых образцов и размерами шва, опирающаяся на серию тестовых экспериментов по сварке образцов металлических пластин и отрезков труб. Проведены первые сопоставления полученных с помощью распределения цветов побежалости значений остаточных напряжений в одномерной постановке с найденными экспериментально по методу зондирующего отверстия, на основании которых проводится доработка математической модели.

Представленный материал показывает возможность определения остаточных напряжений в процессе их образования без высверливания или другого механического воздействия на испытываемое тело с целью проявления этих напряжений, т.е. возможность неповреждающего контроля остаточных сварочных напряжений.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для ведущих научных школ НШ-134.2008.1.

Литература

1. **Тихонов А.Н., Самарский А.А.** Уравнения математической физики. М.: Наука, 1977. 735 с.

2. **Биргер И.А.** Остаточные напряжения. М.: Машгиз, 1963. 232 с.

3. **Прочность**. Устойчивость. Колебания: справочник. Т. 1. М.: Машиностроение, 1968. 831 с.

4. **Чернышев Г.Н., Попов А.Л., Козинцев В.М., Пономарев И.И.** Остаточные напряжения в деформируемых твердых телах. М.: Наука, 1996. 240 с.

5. **Фролов В.В.** Теория сварочных процессов. М.: Высш. шк., 1988. 560 с.

С.6. **ГРУППА ДИНАМИЧЕСКИХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПОДШИПНИКОВ**

Мишин В.В., ГОУ ВПО «Орловский государственный технический университет», Орел, Россия

Разработка новых методов и средств диагностирования подшипников (качения и скольжения) является в настоящее время весьма актуальной. Подшипники представлены практически во всех изделиях машиностроения, приборостроения, энергоустановок, металлургического оборудования, авиа- и судоходной техники. Поэтому комплекс проблем технической диагностики подшипников можно считать межотраслевым.

В настоящей работе предлагается группа новых диагностических параметров, синтезированных на основе анализа процесса разрушения смазочного слоя (пленки) в зонах трения контактирующих деталей подшипника. При этом оценка состояния смазочного слоя и его динамических состояний выполняются электрическим методом. Суть метода следующая: при разрушении смазочного слоя в зоне трения деталей подшипника происходят микроконтактирования элементов контактирующих поверхностей (например, микронеровностей). При этом электрическое сопротивление зоны трения значительно уменьшается, так как смазочный слой в большинстве случаев представляет собой диэлектрик. При подаче на детали подшипника микротока реализуется электрический метод измерения сопротивления подшипника, проводимости подшипника и вероятности микроконтактирования, которые характеризуют состояние смазочного слоя во времени.

Для решения большого количества диагностических задач предлагается группа новых диагностических параметров. Для удобства они разбиты на три подгруппы: подгруппа параметров, основанных на временной функции вероятности микроконтактирования; подгруппа параметров, основанных на временной функции сопротивления подшипника, и подгруппа параметров, базирующаяся на временной функции проводимости подшипника.

1. подгруппа параметров на основе вероятности микроконтактирования: скорость $VNIT$ изменения вероятности $P_k(t)$ микроконтактирования во времени $VNIT = \dfrac{dP_k(t)}{dt}$; ускорение изменения $P_k(t)$ $ANIT = \dfrac{d^2P_k(t)}{dt^2}$; отношение $VNITR$ к угловой или линейной скорости вращения вала $VNITR = VNIT/\omega$, где ω – угловая скорость вращений вала контролируемого узла (внутреннего кольца подшипника); отношение $ANIT$ к угловому (линейному) ускорению вращения вала (кольца) контролируемого узла $ANITR = \dfrac{ANIT}{d\omega/dt} = \dfrac{ANIT}{\varepsilon}$; нормированные (относительные) скорость и ускорение изменения временной функции вероятности микроконтактирования соответственно: $VNIT_{\text{норм}} = \dfrac{dP_k(t)}{dt}\Big/P_k(t)$, $ANIT_{\text{норм}} = \dfrac{d^2P_k(t)}{dt^2}\Big/P_k(t)$.

Первые два параметра $VNIT$, $ANIT$ предположительно будут давать обоснованную информацию процесса приработки (обкатки) подшипника и позволят более глубоко анализировать диагностические процессы, происходящие в зоне трения работающего подшипника. Вторые два параметра $VNITR$, $ANITR$ позволят более подробно характе-

ризовать критические режимы работы подшипника (разгон и торможение) и, так как вероятность микроконтактирования связана с характеристиками процесса износа, параметры позволят в течение действия критических режимов осуществлять контроль процесса износа;

2. подгруппа параметров на основе временной функции электрического сопротивления зоны трения (подшипника): скорость VR изменения сопротивления $R(t)$ подшипника во времени $VR = \frac{dR(t)}{dt}$; «ускорение» изменения сопротивления подшипника во времени $AR = \frac{d^2R(t)}{dt^2}$; отношение VRR к угловой или линейной скорости вращения вала $VRR = \frac{VR}{\omega}$; отношение ARR к угловому (линейному) ускорению вращения вала (кольца) контролируемого узла $ARR = \frac{AR}{d\omega/dt} = \frac{AR}{\varepsilon}$; нормированные (относительные) скорость и ускорение изменения временной функции сопротивления, соответственно: $VR_{\text{норм}} = \frac{dR}{dt}\Big/R$, $AR_{\text{норм}} = \frac{d^2R}{dt^2}\Big/R$;

3. подгруппа параметров на основе временной функции электрической проводимости зоны трения: $VJ = \frac{dJ(t)}{dt}$, где $J(t)$ – временная функция электрической проводимости.

Остальные производные параметры определяются аналогично выше представленным: $AJ = \frac{d^2J(t)}{dt^2}$, $VJR = \frac{VJ}{\omega}$, $AJR = \frac{AJ}{d\omega/dt} = \frac{AJ}{\varepsilon}$, $VJ_{\text{норм}} = \frac{dJ(t)}{dt}\Big/J(t)$, $AJ_{\text{норм}} = \frac{d^2J(t)}{dt^2}\Big/J(t)$.

Все рассмотренные параметры представляют собой временные функции. Применение двух обратных функций электрического сопротивления $R(t)$ и электрической проводимости $J(t)$ обусловлено разными принципами измерения при реализации электрических методов диагностирования.

Для удобства построения средств измерения и унификации результатов измерения предлагается использовать логарифмическую шкалу в общепринятых единицах дБ. Вероятность микроконтактирования не имеет размерности, однако при инструментальной реализации измерения вероятности микроконтактирования электрическими методами через широко применяемый диагностический параметр НИВ вероятность микроконтактирования трактуется как соотношение длительности микроконтактирований к общей длительности T измерения и изменяется в пределах $10^{-8}...1$. Этот диапазон можно представить в процентном соотношении, т.е. $P_k,\% = P_k \cdot 100\%$ или в децибелах. В этом случае результаты измерений параметра $VNIT$ будут иметь размерность (проценты в секунду $\%/c$). Аналогично определяется размерность остальных предлагаемых диагностических параметров. Так как измерение вероятности микроконтактирования через

параметр НИВ (NIT) осуществляется частотным способом, динамический диапазон $VNIT$ от 0 до 160 дБ реализуется на практике достаточно просто.

Аналоговые методы измерения вероятности микроконтактирования (с аналоговым интегрированием) позволяют охватить диапазон от 0 до 80 дБ. Диапазон преобразователей для параметров $VNIT$, $ANIT$, $VNITR$, $ANITR$ в дискретном исполнении будет определяться дискретизацией данных, а в аналоговом способе – параметрами интегрирующих и дифференцирующих цепей для получения сигнала НИВ и последующего его дифференцирования. Так как обычно параметр НИВ измеряется при значениях времени усреднения 0,001; 0,01; 0,1; 1; 10 с, то максимальный диапазон изменения параметра $VNIT$ составит 220 дБ при изменении параметра НИВ (NIT) в диапазоне от 10^{-8} до 1 за время 0,001 с. Аналогично при времени измерения 1 с (общепринятое время измерения параметра) максимальный диапазон составит 160 дБ. Так как знак предлагаемых параметров определяется возрастанием или убыванием временной функции вероятности микроконтактирования на локальном участке, полный динамический диапазон изменения параметров будет составлять максимальные значения со знаком «+» или «–», например возможный диапазон для параметра $VNIT$ в описанном примере составит от –220 до +220 дБ при цифровом (частотном) методе измерения и от –80 до +80 дБ при аналоговом методе измерения. Аналогично и для других предлагаемых параметров.

С.7. **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПРОЦЕССОВ РЕМОНТНОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ УЗЛОВ ТРЕНИЯ**

Пахолкин Е.В., Анцифорова Е.В., ГОУ ВПО «Орловский государственный технический университет», Орел, Россия

В настоящее время можно констатировать существование повышенного научно-практического интереса к проблеме восстановления противоизносными ремонтно-восстановительными составами (РВС) рабочих поверхностей деталей трибосопряжений (подшипники, зубчатые колеса, детали двигателей, узлы технологического оборудования, детали автомобильной, сельскохозяйственной техники и т.п.). Имеющийся в России и за рубежом практический опыт показывает, что введение РВС в смазочные материалы снижает затраты на профилактику и ремонт техники. Широкое внедрение данных технологий, которые относят к нанотехнологиям, связывают с возможностью достижения глобальных экономических эффектов.

Действие РВС заключается в формировании на трущихся поверхностях деталей защитных слоев с особыми физико-механическими свойствами. Наиболее распространенными РВС являются природные минералы, например наночастицы серпентинов.

Сдерживание широкого практического внедрения РВС-технологий связано с научно-технической проблемой: предлагаемые методики ремонтного восстановления базируются в основном на опытных данных производителей восстановительных составов. При этом известно не только о положительном эффекте применения РВС-технологий, но и о возможности получения отрицательного эффекта.

Появление сканирующей туннельной и атомно-силовой микроскопии привело к возникновению нового научного направления – нанотрибологии, которая изучает природу микроконтактов. Тем не менее данные методы, очевидно, мало пригодны для создания диагностического обеспечения рассматриваемых процессов при их практическом применении в промышленности, сельском хозяйстве и т.п., особенно если речь идет о

средних и мелких субъектах хозяйственной деятельности. Альтернативой методам нанотрибологии при решении рассматриваемой задачи могут служить электрические методы трибомониторинга благодаря их функциональным возможностям: высокой чувствительности при оценке качества рабочих поверхностей трибосопряжений, безынерционности и удобстве получения и преобразования измерительной информации, низкой стоимости диагностического оборудования, не сравнимой с техническими средствами иных видов контроля и диагностики.

Полученные предварительные результаты подтверждают приведенный тезис о достоинствах и эффективности электрических методов трибодиагностики в изучении процессов формирования модифицированного защитного поверхностного слоя на рабочей поверхности детали узла трения при введении в смазочный материал РВС. Результаты получены в ходе следующего исследования.

Объектами ремонтного восстановления являлись подшипники 208 и 113 как с естественным износом рабочих поверхностей деталей (бывшие в эксплуатации), так с искусственно ухудшенным состоянием рабочих поверхностей наружного кольца. Далее в качестве примера будут приведены результаты для одного подшипника.

В качестве оборудования использовались универсальный стенд для диагностирования подшипников, обеспечивающий вращение внутреннего кольца подшипника с частотой 2700 мин$^{-1}$, радиальное нагружение 200 Н, медленную обкатку наружного кольца с периодом от 15 до 45 с; измеритель параметров электрического контактирования ИПЭК-1 (ТУ 4276-195-02069036-2005) [1]; персональный компьютер. Используемые смазочные материалы – литол и смазочная ремонтно-восстановительная композиция «Супротек».

Мониторинг процессов ремонтного восстановления подшипников осуществлялся с использованием диагностического параметра нормированное интегральное время контактирования (НИВ) [2]. НИВ является оценкой вероятности разрушения смазочного слоя, его верхнее предельное значение равно единице (вероятность разрушения 100 %), нижнее равно нулю, а порог чувствительности определяется техническими характеристиками средства диагностирования (при измерении параметра за 1 с обеспечивался порог чувствительности 10^{-7}).

Алгоритм экспериментов по каждому подшипнику включает следующие процедуры: промывка подшипника; внесение пластичного смазочного материала без РВС; предварительная обкатка подшипника с мониторингом его начального состояния; промывка подшипника; внесение смазочного материала с 10%-ной смазочной ремонтно-восстановительной композицией; обкатка подшипника с мониторингом изменения качества рабочих поверхностей; обработка результатов измерения диагностического параметра НИВ с целью определения изменений качества рабочих поверхностей подшипника.

После предварительной обкатки подшипника 208 среднее значение параметра НИВ снизилось от $1{,}96\cdot10^{-4}$ до $1{,}05\cdot10^{-4}$, т.е. незначительно. При этом реализация алгоритма поиска локальных дефектов [3] подтвердила гипотезу о неоднородном качестве рабочей поверхности наружного кольца: были выявлены периодически повторяющиеся при сканировании кольца всплески НИВ. После обкатки пиковое значение параметра снизилось с $1{,}98\cdot10^{-3}$ до $1{,}19\cdot10^{-3}$, что также является несущественным. Выполненный после промывки подшипника визуальный осмотр подтвердил наличие участков со следами изнашивания, требующих ремонтного восстановления.

После внесения смазочной композиции, содержащей РВС, подшипник подвергался обкатке, при этом суммарное время работы подшипника составило около 12 ч. Обкатка подшипника сопровождалась монотонным снижением параметра НИВ, что соответствует улучшению качества рабочих поверхностей. На момент окончания эксперимента среднее значение НИВ снизилось до значения $3{,}02\cdot10^{-6}$, т.е. практически на два порядка. Сканирование поверхности наружного кольца также подтвердило заметное улучшение

его качества (пиковые значения НИВ, соответствующие участкам поверхности наружного кольца с наихудшим качеством, уменьшились до $5{,}72 \cdot 10^{-5}$) .

По полученным результатам можно сделать следующие выводы. Во-первых, эффективность применения электрического метода трибомониторинга при исследовании процессов ремонтного восстановления деталей с помощью РВС подтверждена экспериментально. Во-вторых, выявлена высокая чувствительность диагностического параметра НИВ к изменению характера микрогеометрии рабочих поверхностей подшипников в процессе их ремонтного восстановления. Таким образом, совокупность электрических методов и технических средств трибодиагностики при условии их адаптации к решаемой проблеме может служить основой диагностического обеспечения РВС-технологий.

Перспективные результаты исследований представляют научную базу для проведения ОКР по разработке и производству технических средств диагностирования, а также основу для разработки научно обоснованных технологий обслуживания и ремонта объектов, содержащих узлы трения.

Работа выполняется при поддержке РФФИ, грант 09-08-99076-р_офи.

Литература

1. **Подмастерьев К.В., Пахолкин Е.В., Мишин В.В.** Измеритель параметров электрического контактирования ИПЭК-1 // Контроль. Диагностика. 2005. № 11. С. 7–8.

2. **Подмастерьев К.В.** Электропараметрические методы комплексного диагностирования опор качения. М.: Машиностроение-1, 2001. 376 с.

3. **Подмастерьев К.В., Пахолкин Е.В.** Электрический метод и средства поиска локальных дефектов опор качения // Дефектоскопия. 1998. № 8.

С.8. ИССЛЕДОВАНИЕ КАВИТАЦИИ, ВОЗНИКАЮЩЕЙ В ВОДНОЙ СРЕДЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ МНОГОВОЛНОВОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАСКАДНОГО ВОЛНОВОДА

Новик А.А., СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Санкт-Петербург, Россия

Акустическая кавитация в жидкостях инициирует различные физико-химические явления: сонолюминесценцию (свечение жидкостей); химические эффекты (звукохимические реакции); эрозию твердого тела (разрушение поверхности); диспергирование (измельчение твердых частиц в жидкости) и эмульгирование (смешивание и гомогенизация несмешивающихся жидкостей). Данные эффекты используются в том числе при проведении лабораторных исследований и контроля.

Каскадные многоволновые (содержащие N полуволновых участков) ультразвуковые волноводы создают кавитацию, охватывающую много более значительные объемы, чем классические излучатели, применяемые для этих целей, позволяют увеличить производительность ультразвуковых реакторов. В данной работе производится оценка интенсивности кавитации, происходящей в водной среде под действием $6\lambda/2$ волновода.

Методы исследования кавитации можно разделить на прямые и косвенные. К прямым методам относятся:

- визуальные: фото-, кино- и видеосъемка кавитационных образований;
- акустические: измерение звукового давления в среде, измерение давления в ударной волне, излучаемой кавитационными пузырьками при пульсациях и схлопывании.

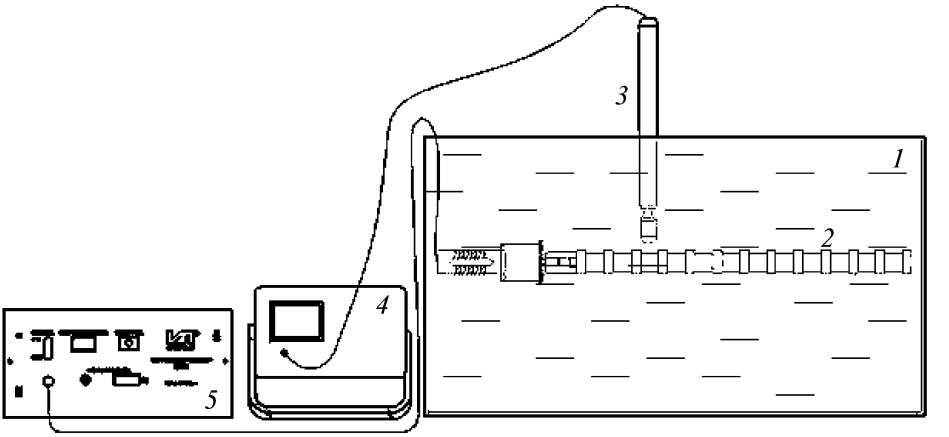


Рис. 1. Схема измерительного стенда

Наиболее перспективным является комбинированный способ исследования кавитации: фото- и видеосъемка, совмещенные с измерением акустических параметров кавитационного поля.

На рис. 1 приведена схема измерительного стенда, где *1* – аквариум, заполненный подкрашенной водой, *2* – каскадный волновод с магнитострикционным излучателем, *3* – гидрофон, *4* – осциллограф, *5* – ультразвуковой генератор.

В работе использовался ультразвуковой генератор ИЛ10-4.0 производства ООО «Ультразвуковая техника – ИНЛАБ» и магнитострикционный преобразователь мощностью 4 кВт того же производителя. Применяемый гидрофон (сфера, производство СССР) имеет равномерную характеристику приема и чувствительность 20 мкВ/Па, поэтому при исследуемых значениях давления нет необходимости использовать приемный усилитель, гидрофон подключался напрямую к осциллографу. Для ультразвукового генератора предусмотрена ручная и автоматическая подстройка частоты для достижения резонанса механической системы, а также встроенный частотомер для определения резонансной частоты.

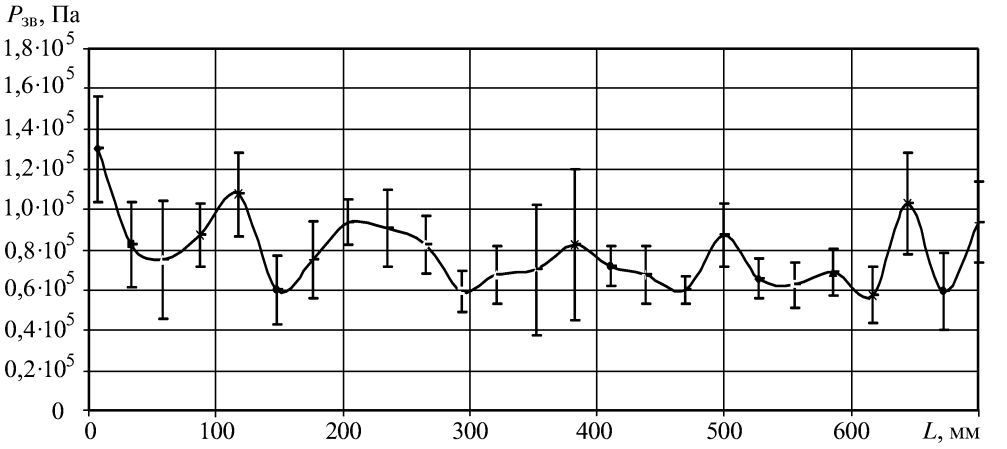


Рис. 2. Распределение звукового давления по длине волновода

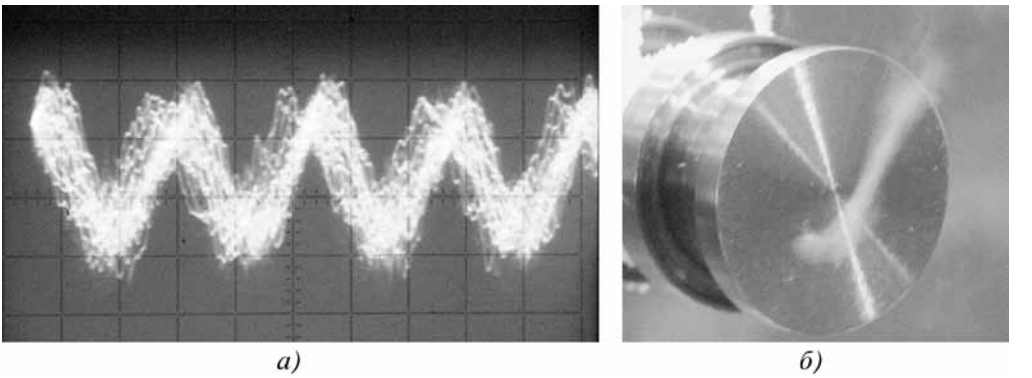


Рис. 3. Визуальное исследование кавитации:
а – кавитационный шум, *б* – кавитационная область

В ходе работы было произведено:

- измерено звуковое давление в 25 точках по длине каскадного волновода с помощью гидрофона (статистически обработанные результаты приведены на рис. 2);
- сняты осциллограммы звукового давления с кавитационным шумом для некоторых точек волновода (рис. 3, *а*);
- сфотографированы кавитационные области, возникающие в воде под действием ультразвуковых колебаний (рис. 3, *б*).

На графике распределения звукового давления (см. рис. 2) видно, что оно достигает или превышает порог кавитации, который для неподготовленной воды на частоте около 20 кГц составляет $5 \cdot 10^4$ Па для всех измерений. Превышение порога звуковым давлением в максимумах, соответствующих началу и концу полуволновых участков, составляет от 1,38 до 2,15 раз. В минимумах значения звукового давления равны или незначительно отличаются от величины $6 \cdot 10^4$, т.е. превышение порога кавитации для минимумов составляет приблизительно 1,2 раза.

Таким образом, можно утверждать, что «акустические» условия для возникновения кавитации выполняются вблизи рассматриваемого волновода по всей длине, что и наблюдалось в ходе эксперимента. Разнообразные наблюдаемые кавитационные области также позволяют говорить о высокоинтенсивном кавитационном процессе.

С.9. ОСОБЕННОСТИ ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ БЕСПРОВОДНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРИБОРОВ АКУСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Патракеев Н.В., Потапов И.А., Махов В.Е., Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия

В последнее время продукция приборостроения все больше опирается на использование компьютерных технологий, которые позволяют значительно повысить производительность и надежность проводимого контроля. Особую актуальность применение компьютерных технологий приобретает для решения задач акустического анализа [1].

Важным фактором выбора схемных решений является построение беспроводной системы датчик–компьютер. При этом следует руководствоваться стремлением использовать открытые стандарты беспроводной связи. Другим аспектом выступая распространенность и аппаратная поддержка выбранного стандарта беспроводной связи. При этих

1. Функции LabVIEW построения ВП

	VISA	Bluetooth	IrDA	TCP
Обнаружение	–	Bluetooth Discover	IrDA Discover	–
Открыть соединение	VISA Configure Serial Port	Bluetooth Open Connection	IrDA Open Connection	TCP Open Connection
Чтение	VISA Read	Bluetooth Read	IrDA Read	TCP Read
Запись	VISA Write	Bluetooth Write	IrDA Write	TCP Write
Прослушивание	–	Bluetooth Create Listener	IrDA Create Listener	TCP Create Listener
Ожидание прослушивания	–	Bluetooth Wait On Listener	Bluetooth Wait On Listener	TCP Wait On Listener
Закрытие соединения	VISA Close	Bluetooth Close Connection	IrDA Close Connection	TCP Close Connection

условиях можно достигнуть сравнительно невысокой стоимости беспроводного датчика при отсутствии потребности в дополнительных и специальных компьютерных устройствах. Это в свою очередь сделает решение доступным для широкого круга потребителей.

Некоторые программы обмена данными используют исключительно Windows API, возникает платформенная и программная зависимость работы приборов, что в свою очередь вызывает определенные трудности разработки масштабируемых средств контроля средствами обычного программирования.

В работе рассмотрены возможности приборной реализации на базе технического модуля Bluetooth (WARP THOR 2022) и АЦП, которые позволяют осуществлять выбор скорости оцифровки получаемого акустического сигнала от 125 до 5000 выборок/с. Однако реализация на базе технического модуля не позволяет напрямую использовать стандартные сервисы и буфера обмена.

Более широкие возможности для создания программной части приборов акустического контроля предоставляет технология фирмы National Instruments, обеспечивая как платформенную независимость, так и программную, с одной стороны, с другой – более простые средства телекоммуникаций. Для отображения получаемых данных на компьютере, может быть использована среда разработки приложений LabVIEW [2]. Варианты базового виртуального прибора (ВП) могут быть построены на базе стандартного программного интерфейса приложения (API) – VISA (для WARP THOR 2022), который не зависит от протокола или шины аппаратной части. Прибор работает через виртуальный COM-порт установленного на компьютере адаптера Bluetooth. Другой возможностью построения ВП получения и отображения акустических сигналов является непосредственное использование функций LabVIEW работы с Bluetooth, таких как обнаружения

(Bluetooth Discover –), чтение (Bluetooth Read –), запись (Bluetooth Write –). При этом появляется возможность работы по обмену получаемой информации с целым рядом устройств Bluetooth как в режиме сервера, так и в режиме клиента.

Функциональная структура ВП National Instruments получения и отображения сигналов как для проводных, так и для беспроводных технологий имеет практически одну и ту же структуру (см. табл. 1). Существенным функциональным отличием является способ преобразования формата принимаемых данных. Это обстоятельство позволяет масштабировать ВП, в случае необходимости модифицировать виртуальные приборы под другие имеющиеся стандарты беспроводной связи (например, Wi – Fi или Zigbee) или беспроводные стандарты, которые должны появиться в ближайшее время.

Таким образом, стандарт беспроводной связи Bluetooth совместно с технологией ВП фирмы National Instruments позволяет путем создания большого числа конфигураций измерительных схем и телекоммуникаций с наибольшей эффективностью подойти к решению задач распределенных контрольно-измерительных систем акустического контроля, создавать широкую линейку приборов контроля для массового использования в различных устройствах акустического контроля.

Литература

1. **Потапов А.И., Потапов И.А., Махов В.Е.** Аппаратно-программные средства для телемедицины // Технологии и компоненты. 2007. № 1. С. 164–166.
2. **Тревис Дж., Кринг Дж.** LabVIEW для всех. М.: ДМК «Пресс», 2008. 880 с.

С.10. ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ТРИБОСОПРЯЖДЕНИЯХ

Подмастерьев К.В., Марков В.В., Орловский государственный технический университет (ОрелГТУ), г. Орел, Россия

Изложен подход к адаптации автоматизированной системы сбора и анализа данных при трибомониторинге САДТ-1 к задачам экспериментальных исследований тепловых процессов в трибосопряжениях. Обозначены основные направления и задачи исследований.

При трибологических исследованиях наряду с получением информации об электрических, кинематических или вибрационных параметрах трибосопряжения измеряют температуру поверхностей его деталей, находящихся в непосредственной близости от зоны трения. При этом перспективно использование не только температуры, но и скорости ее измерения. Температура является характеристикой внутренней энергии объекта, поэтому скорость ее изменения имеет физический смысл мощности и хорошо сочетается с электрической мощностью и с виброскоростью, что создает условия для создания комплексного метода диагностирования, эффективно решающего задачи оценки состояния трибосопряжения.

Для экспериментального подтверждения гипотезы о возможности использования скорости изменения температуры поверхностей деталей трибосопряжения в качестве диагностического параметра предложено использовать лабораторный стенд, основой которого служит автоматизированная система сбора и анализа данных при трибомониторинге САДТ-1 (рис. 1).

Рис. 1. Внешний вид лабораторного стенда

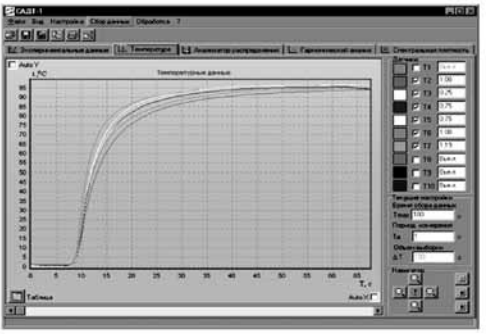


Рис. 2. Окно канала температуры САДТ-1

Система САДТ-1 разработана научной школой кафедры «Приборостроение, метрология и сертификация» ОрелГТУ и представляет собой измерительно-вычислитеный комплекс для исследований в области трибологии, машиноведения, механики, неразрушающего контроля и диагностики, учебного процесса в системе высшего образования. Она позволяет автоматизировать совместные динамические измерения ряда диагностических признаков трибосопряжения: электрического сопротивления и ЭДС, температуры поверхностей трибосопряжения (10 каналов) и частоты вращения подвижных деталей (2 канала), параметра нормированное интегральное время (НИВ) и частоты микроконтактирования в трибосопряжении. Наличие десяти независимых каналов измерения температуры и двух каналов измерения частоты, сочетающихся с удобным интерфейсом программного обеспечения (рис. 2), позволяет провести с помощью САДТ-1 исследования закономерностей распространения теплоты в пределах подшипниковых узлов экспериментальной установки, получить зависимости температуры и скорости ее изменения при варьировании частоты вращения, типа и количества смазочного материала, осевой нагрузки подшипников.

С.11. **ФИЗИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАТЕРИАЛОВ И ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ**

Власов В.Т., Дубов А.А., ООО «Энергодиагностика», Москва, Россия

Многолетний экспериментально-практический опыт, накопленный в процессе разработки и практического применения метода магнитной памяти при диагностике различных объектов, выявил и доказал объективность «несоответствия» реальных значений физических параметров внутренних напряжений «привычным» предельным значениям механических характеристик, например пределу временной прочности.

Исследования деформационно-силовых характеристик девяносто семи образцов различных сталей и сплавов показали, что значения предельных внешних удельных сил, приведенных к областям неравномерного и равномерного деформирования, заметно отличаются от средних значений для всего образца. А это значит, что критерии предельного состояния, полученные при простых механических испытаниях образцов, не могут отражать предельное состояние материала и тем более предельное состояние элемента конструкции. Но чтобы осознать это, необходимо преодолеть укоренившееся представление о внутренних напряжениях и вспомнить, что те напряжения – «сигмы», к которым все так привыкли, не являются напряжениями. Это внешняя удельная сила, приложенная

к образцу конкретной формы и меняющая внутренние напряжения, это условный эквивалент внутренних напряжений!

Противодействуя внешнему воздействию, материал использует собственную энергию, затраты которой можно оценить по работе внешнего поля – деформационно-силовым параметрам, которые выражаются двумя полными тензорами второго ранга (силовым и деформационным) или двумя парами линейных (симметрических) и вращательных (кососимметрических) тензоров. Потеря кососимметрического вращательного тензора в теории сопротивления материалов привела к глубоко ошибочному представлению о существовании «главных напряжений» и «главных деформаций». Ни теоретически (если, конечно не допустить ошибки), ни в реальных условиях нельзя найти такую «площадку, на которой отсутствовали бы сдвиговые силы» и вращательные моменты!

Исследования процесса «деформация – разрушение» показали, что для определения критериев предельных состояний материала необходимо рассматривать «работающий» материал как совокупность открытых термодинамических систем.

В результате проведенных исследований удалось установить единые для всех материалов критерии предельного состояния – термодинамические контакты неравновесных стационарных состояний.

Энергетический подход к деформационной теории позволил выявить единые критерии предельного состояния в отличие от общепринятых критериев (предел текучести и предел временной прочности). Проведенные исследования доказали связь единых термодинамических констант с деформационно-силовыми критериями предельных состояний, определяющих возникновение микротрещин и развитие магистральных трещин.

Результаты исследований закономерностей распределения физических деформаций прямо указывают на необходимость разработки новой нормативной документации, регламентирующей проведение аттестации средств диагностики напряженно-деформированного состояния конструкционных материалов и методик «настройки» средств диагностики НДС.

С.12. **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ПРЯМОГО СОВМЕЩЕННОГО ЭМА-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРОДОЛЬНЫХ ВОЛН ДЛЯ ЗАДАЧ ТОЛЩИНОМЕТРИИ**

Алехин С.Г., ООО «Акустические Контрольные Системы»,
Москва, Россия

Для задач бесконтактного измерения толщины большое распространение получили электромагнитно-акустические (ЭМА) толщиномеры. Традиционно для ЭМА-толщиномеров используются ЭМА-преобразователи (ЭМАП) для возбуждения и приема поперечных волн. Для материалов с высокой степенью анизотропии ЭМАП на поперечных волнах дают дополнительную погрешность. Поэтому в этих случаях целесообразно применение ЭМАП, использующих продольные волны. Одной из основных характеристик ЭМАП преобразователя является его диаграмма направленности. Традиционно для расчета диаграммы направленности изменялся аналитический метод. Как правило, расчет выполнялся только для одной частоты. А в неразрушающем контроле используется эхоимпульсный режим. Поэтому для получения диаграммы для импульсного режима требовалось дополнительное интегрирование по всему спектру импульса возбуждения. Довольно часто такой расчет авторами не проводился в силу сложности получения аналитических выражений. Численные методы расчета используют некоторые упрощения. Поэтому для сравнения результатов, полученных различными методами, было проведено экспериментальное исследование диаграммы направленности ЭМА-преобразователя

для возбуждения и приема продольных волн. Также проведено экспериментальное исследование диаграммы направленности паразитного излучения поперечных волн. Результаты были сопоставлены с расчетными данными. Экспериментально исследовано влияние величины зазора, клиновидности зазора на диаграмму направленности. Сделаны выводы и даны рекомендации по выбору параметров преобразователя для задач толщинометрии.

С.13. **ОРГАНИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, ПРОВЕРЯЕМЫХ КАПИЛЛЯРНЫМИ МЕТОДАМИ**

Глазков Ю.А., ФГУ «13 ГНИИ Минобороны России», Люберцы, Московская обл., Россия

Основная ошибка применения капиллярного контроля в технологическом маршруте ремонта деталей газотурбинных двигателей (ГТД) заключается в том, что точки капиллярного контроля в маршруте и способы подготовки деталей к нему выбирают без учета характера эксплуатационных отложений на них, характера ремонтных операций и возможного наличия на деталях усталостных трещин. Для повышения эффективности дефектоскопического контроля деталей ГТД предложено проводить оптимизацию или рационализацию маршрутов ремонта следующими способами:

- введением дополнительного контроля деталей на начальных этапах ремонта для обнаружения усталостных трещин;
- изменением технологической последовательности ремонта деталей путем переноса точки контроля на более ранние стадии ремонта непосредственно после операций, при выполнении которых возможно возникновение дефектов производственно-технологического характера;
- изменением способов выполнения и режимов некоторых операций ремонта, снижающих эффективность контроля. Например, термообработку деталей в воздушной среде или с использованием термообмазки, снижающую выявляемость дефектов капиллярными методами, заменяют термообработкой в среде инертного газа или в вакууме; механическую обработку – электрохимической, электроэрозионно-химической и т.д.;
- заменой методов контроля, введением дублирующего контроля или корректировкой режимов и способов выполнения применяемых методов контроля;
- введением новых способов очистки деталей перед капиллярным контролем или их корректировкой с учетом необходимости удаления с поверхности деталей и из полостей дефектов веществ, попадающих на детали в процессе эксплуатации авиационной техники или на начальных этапах ремонта. Например, замена промывки лопаток турбины ацетоном или нефрасом на начальном этапе ремонта, которые не удаляют нагар и окислы, щелочной или анодно-щелочной обработкой либо внедрение ультразвуковой очистки лопаток после полирования вместо промывки нефрасом для удаления продуктов полирования из полостей трещин.

При оптимизации или рационализации маршрутов ремонта условную достоверность *Д* каждого реального одиночного контроля при условии безошибочной работы дефектоскописта с учетом коэффициентов d_i влияния каждой *i*-й операции ремонта на достоверность можно оценивать по формуле

$$\overset{n}{\underset{i=1}{Д}} = K_{\text{пк}} Д_{\text{кк}} \rho \, П \, d_i \, .$$

Практикой доказано, что расходы на отработку новых операций ремонта, очистку деталей и дополнительныйо (дублирующий) контроль, а также на приобретение нового оборудования, необходимого для внедрения рационализированных маршрутов ремонта, окупаются за 2…3 года за счет уменьшения ущерба, наступающего ранее вследствие необнаружения опасных трещин и разрушения деталей отремонтированных ГТД на начальном этапе их эксплуатации после ремонта.

С.14. **ИНДУКЦИОННЫЙ МАГНИТОПОРОШКОВЫЙ КОНТРОЛЬ КОЛЬЦЕВЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Дубровин Д.В., Глазков Ю.А., ФГУ «13 ГНИИ Минобороны России»,
Люберцы, Московская обл., Россия

Несмотря на большой опыт и многолетние исследования в области магнитопорошкового контроля деталей и узлов авиационной техники, многие проблемы остаются до настоящего времени нерешенными.

Одной из проблем магнитопорошковой дефектоскопии является выявление трещин на деталях, представляющих собой тонкие кольца (шайбы, втулки, кольцевые уплотнители и т. д.), в которых при изготовлении и в процессе эксплуатации техники могут возникать трещины, направленные по окружности.

В настоящее время магнитопорошковый контроль подобных деталей при циркулярном и продольном намагничивании является малоэффективным. Это связано с тем, что при контроле кольцевые детали подвергаются недопустимой деформации и повреждениям прижогами в местах ввода электрического тока, а также из-за действия большого размагничивающего фактора.

Для контроля тонкостенных кольцевых деталей целесообразным является намагничивание путем бесконтактного возбуждения в их материале индуцированных токов, которые образуют в деталях собственное магнитное поле.

Однако в литературных источниках отсутствуют принципы создания дефектоскопов индукционного намагничивания, нет рекомендаций по определению режимов индукционного намагничивания конкретных кольцевых деталей различных размеров и формы сечения, а также деталей, выполненных из сталей с разными магнитными свойствами.

Эти вопросы нами исследуются. Создана опытная установка для намагничивания таких деталей, определены ее технические характеристики. Установлены некоторые закономерности намагничивания деталей и выявления дефектов.

С.15. **МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ОПЫТ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ СЛОЖНЫХ ФОРМ**

Каксис А.О., Тараканов Ю.В., Каксис Ю.А.,
ФГУ «13 ГНИИ Минобороны России», Люберцы, Московская обл., Россия

В авиационной практике возникла необходимость выявления на одном из типов самолетов трещин материала *(сталь 30ХГСНА)* высоконагруженной балки главной ноги шасси, развивающихся по механизму коррозии под напряжением на внутренней *(недоступной)* поверхности нижней стенки в зоне продольного сварного соединения, закрытого изнутри технологической неудаляемой подкладной лентой. Для решения этой задачи

была разработана специальная методика ультразвукового контроля (УЗК), обеспечивающая выявление трещин, ориентированных вдоль, поперек и под углом ~50° к оси продольного сварного соединения – именно по таким направлениям развивались реальные трещины коррозии под напряжением, приводившие до этого к разрушению нескольких балок.

Главные проблемы и трудности идентификации "полезных" эхосигналов, т.е. обусловленных действительно опасными скрытыми дефектами сплошности материала в зоне подкладной ленты, и различных сигналов-помех при реализации новой методики УЗК были связаны с рядом конструктивно-технологических особенностей проверяемого объекта, что в методическом плане потребовало:

– разделения эхо-сигналов от возможных трещин коррозиии под напряжением, зарождающихся и развивающихся в зоне под подкладной лентой, и эхосигналов от граней самой подкладной ленты;

– распознавания «ложных» сигналов, обусловленных отклонениями от ТУ на сварку двух корытообразных половинок узла, другими словами, вызванных «неправильной» геометрией сечения реально получившегося конкретного шва совместно с подкладным элементом;

– идентификации эхосигналов, вызванных возможными эксплуатационными трещинами под подкладной лентой и дефектами сварки производственного происхождения, своевременно не выявленными и не устраненными в процессе изготовления балки.

Естественные отражения от подкладного элемента в процессе контроля принципиальных трудностей не вызывали, так как методические приемы идентификации таких сигналов известны для общего случая УЗК сварных швов и применяются на практике при контроле сварных соединений конкретных типов авиационной техники.

Наибольшие проблемы были обусловлены появлением при контроле некоторых балок ложных сигналов, совершенно не прогнозировавшихся при отработке первоначального варианта методики УЗК. Проявилась эта ситуация в процессе апробации методики в аэродромных условиях и последующей оценки достоверности полученных результатов другими способами и методами. Подробнее все установленные «неожиданные» отражатели, разработанные методические приемы их исключения из рассмотрения представлены в докладе. Что касается задачи идентификации эхо-сигналов по признакам «эксплуатационный дефект – производственный дефект", то в конечном итоге она была снята в связи с принятием обоснованного решения о потенциальной опасности всех регистрируемых дефектов с заданной отражающей способностью.

В целом по скорректированной методике было отбраковано непосредственно на аэродромах несколько десятков балок с недопустимыми дефектами сплошности материала (*дефекты подтверждены металлографическими исследованиями после препарации ряда отстраненных от эксплуатации балок*), что позволило предотвратить дальнейшие возможные внезапные разрушения этого напряженного и ответственного элемента конструкции шасси.

С.16. **ОСНОВНЫЕ МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА С ТОМОГРАФИЧЕСКИМ РЕЖИМОМ**

Козлов В.Н., ООО «Акустические Контрольные Системы», Москва, Россия

На сегодняшний день Российской Федерации измерение параметров ультразвуковых дефектоскопов производится согласно ГОСТ 23667–85 («Методы измерения основных параметров»). ГОСТ 23049–84 («Дефектоскопы ультразвуковые. Основные параметры и общие технические требования») среди действующих не значится. Что касается

ГОСТ 23667, то не все его положения воспринимаются однозначно, тем не менее он является основным для оценки параметров действующих и вновь разрабатываемых УЗ-дефектоскопов. Попытки использования нестандартных параметров, характеризующих УЗ-дефектоскопы или использование стандартов других стран, не утвержденных в России, по мнению автора, не является целесообразным и по причине отсутствия правовой и технической базы, а также однозначности и воспроизводимости результатов у разных участников метрологического процесса. С другой стороны, нельзя уже утверждать, хотя бы по году издания ГОСТ 23667, что он полностью может решить проблемы метрологии УЗ-дефектоскопов на сегодняшний день, особенно дефектоскопов-томографов.

В данной работе рассмотрен один из вариантов оценки параметров дефектоскопа-томографа. Для оценки метрологических характеристик УЗ-дефектоскопа-томографа «A1550 IntroVisor» в режиме «дефектоскоп» как обычного дефектоскопа использован стандарт ГОСТ 23667, а в режиме «томограф» требуется изменение методики измерения параметров прибора. В частности, предлагается расширить понятие условной чувствительности для режима «томограф». Определяется понятие диапазона и погрешности измерений в этом режиме. Рассмотрены также некоторые проблемы, возникающие при сертификации данного вида продукции как средства измерений.

С.17. **ДИАГНОСТИКА ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ И ОБОРУДОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА МАГНИТНОЙ ПАМЯТИ МЕТАЛЛА**

Дубов А.А., ООО «Энергодиагностика», Москва, Россия

Отличительной особенностью метода МПМ от других методов НК является то, что он определяет концентрацию напряжений на дефектах, т.е. дает оценку степени их опасности для развития повреждения и общую оценку напряженно-деформированного состояния основного металла и сварных соединений газонефтепроводов.

На метод МПМ имеются российские и международные стандарты: ГОСТ Р 52005–2003, ISO 24497 «Контроль неразрушающий. Метод магнитной памяти металла. Общие требования». Для предприятий ОАО «Газпром» разработан ряд руководящих документов, утвержденных ОАО «Газпром» и согласованных с Ростехнадзором.

Используя основное преимущество метода МПМ, заключающееся в том, что оборудование, трубопроводы и любые изделия из ферромагнитного материала сами показывают зоны потенциальных повреждений в виде магнитных аномалий, можно решать многие задачи НК:

– экспресс-контроль газопроводов, бывших в эксплуатации, без снятия изоляции с использованием специальных сканирующих устройств;

– бесконтактный контроль газонефтепроводов, расположенных под слоем грунта или под водой;

– автоматизированный контроль насосно-компрессорных труб (НКТ) при их ремонте;

– контроль новой и бывшей в эксплуатации стальной проволоки, используемой на установках газонефтедобычи;

– экспресс-контроль ловильных головок и других деталей НКТ;

– экспресс-контроль кольцевых сварных соединений газонефтепроводов в сочетании метода МПМ и ультразвука.

В докладе рассматривается опыт решения указанных задач с использованием метода МПМ.

С.18. **АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА НА БЕЗОТКАЗНОСТЬ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

Сенцов С.И., РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, Москва, Россия

Современная сеть магистральных трубопроводов – это более 158 тыс. км газопроводов, 52 тыс. км нефтепроводов, 23 тыс. км нефтепродуктопроводов. Она характеризуется высоким эксплутационным давлением и длительным сроком эксплуатации. Системы магистральных трубопроводов России постоянно развиваются, в среднем сооружается порядка 4 тыс. км в год. Для обеспечения надежной безотказной работы систем магистральных трубопроводов реализуются большие программы диагностики и капитального ремонта. Отраслевые программы диагностики и капитального ремонта позволили стабилизировать параметры отказов на магистральных трубопроводах (МТ).

Анализ причин отказов на МТ России показывает, что наличие большого количества отказов связано с браком строительно-монтажных работ (смен), 23…25 % отказов обусловлены низким качеством строительства. Отказы магистральных трубопроводов зависят от сроков эксплуатации. Период стабильного потока отказов находится в интервале от 10 – до 17 лет, причем в интервале до 12 лет доминируют отказы, вызванные браком СМР и материалов.

В настоящее время организация системы управления качеством не имеет четкой формализации. С одной стороны, в рамках смет фиксируются затраты на систему качества, а с другой стороны, нормативно-техническая документация однозначно прописывает процедуры контроля и не позволяет ими варьировать. В то же время приемосдаточные процедуры требуют фактически 100%-ного уровня качества строительства (т.е. полного отсутствия дефектов). Учитывая то, что системы магистрального трубопроводного транспорта относятся к объектам повышенной опасности, организации, участвующие в трубопроводном строительстве, должны формировать систему управления качеством исходя из заданного уровня качества и на этой основе обеспечивать заданный уровень риска отказов по причине брака строительно-монтажных работ и материалов путем подбора процедур контроля при минимальных затратах. Статистическая оценка затрат на качество показала, что основные статьи затрат приходятся на устранение брака. Для решения задачи оптимизации затрат системы управления качеством необходимо развивать существующие подходы к построению систем менеджмента качества (СМК) и гармонизировать требования к элементам СМК с требованиями к качеству продукции.

Реализуемый в настоящее время подход к нормам контроля, заложенный в отраслевых нормативных документах по контролю качества сварных соединений, значительно увеличивает затраты на контроль и не обеспечивает эффективного выявления целого ряда дефектов. Требования нормативных документов к защитным покрытиям магистральных трубопроводов также ставят перед строителями больше вопросов, чем дают ответов. В частности, нормативы устанавливают 18 показателей качества к изоляционным покрытиям сварных швов, выполняемых в трассовых условиях, и только 6 из них выполнимы (т.е. контролепригодны) при проведении работ на трассе.

Исходя из изложенного можно сделать вывод: внедрение системы менеджмента качества в трубопроводном строительстве следует рассматривать как основной элемент формирования надежности и безотказности трубопроводов, что определяет необходимость синтеза технологических процессов и процессов управления качеством как со стороны заказчиков, так и со стороны подрядчиков.

С.19. **КОМПЛЕКСНЫЙ КОНТРОЛЬ СТРУННЫХ МУЗЫКАЛЬНЫХ ИНСТРУМЕНТОВ**

Махов В.Е., Борисов Е.Г., Махова В.А., Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия

Недорогие серийно выпускаемые музыкальные инструменты имеют разброс параметров и специфические особенности звучания. По принципу образования звуков, инструменты можно разбить на три основные группы: инструменты, звучание которых обусловлено аэродинамическими процессами; инструменты, создающие звук путем поддержания незатухающих механических колебаний струны, и инструменты, звучащие при ударе или при соударении тел.

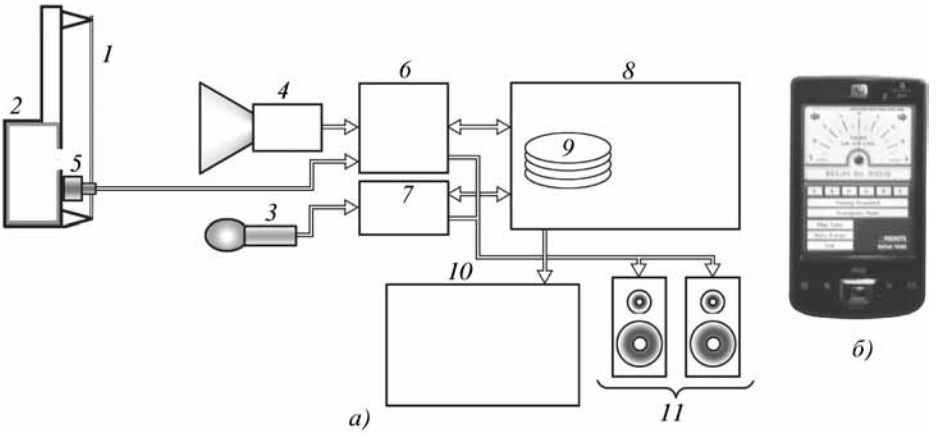
Акустическое качество струнных инструментов складывается из ряда взаимовлияющих частей: струнного механизма, корпуса инструмента, окружающей среды. В результате хранения, эксплуатации и транспортировки инструмента могут возникать различные механические повреждения, которые ухудшают его звучание. В докладе рассмотрена возможность выявления недостатков инструмента и контроля отдельных его частей, что требует различных методов контроля. Очевидно, что на результаты традиционного акустического контроля музыкальных инструментов влияет целый ряд внутренних и внешних факторов, включающих интерференцию и дифракцию звуковых волн в окружающем его пространстве.

В качестве объекта контроля в данной работе была использована домра, а эталоном для всех видов контроля являлся механический камертон (440 Гц). Первоначально при помощи программы Guitar Tuner на КПК iPAQ 214 (Intel Marvell PXA310, 624 MHz, VGA, Windows Mobile 6) были определены частоты звуков для всех струн инструмента и камертона (Гц):

1-я струна ……. 310,30 ± 0,04
2-я струна …… 405,40 ± 0,04
3-я струна ……..… 559,36 ± 0,04
Камертон ……. 439,95 ± 0,02

Первый метод (акустический) регистрирует сформированную волну, излученную корпусом инструмента. Второй метод (виброакустический) регистрирует колебания корпуса в различных точках. Для объективного и независимого определения работы струнной системы предлагается метод доплеровской радиолокации, обеспечивающий требуемую информативность контроля, ассоциированную с акустическим сигналом производимой непосредственно колеблющейся струной (для выбранной длины волны – частично поверхностью). Структурная схема проведения такого контроля представлена на рисунке.

Система контроля инструмента *2*, основанного на колебании струны *1* включает в себя ряд датчиков, в том числе доплеровский радиолокатор *4*, систему ввода сигнала *6*, *7* в компьютер *8*. Программное обеспечение *9* обеспечивает ввод и обработку получаемых сигналов. Видеосистема *10* компьютера обеспечивает визуализацию формы сигнала и его анализа, а акустическая система *11* восстановление вводимого акустического сигнала. Колебания корпуса определялись независимо вибродатчиками (на основе пьезоматериала ЦТС19). При построении контрольно-измерительной системы (КИС) была выбрана технология виртуальных приборов (ВП) фирмы National Instruments (NI). В качестве аппаратной части КИС исследовалась возможность применения как устройств сбора данных фирмы NI, так и различных аудиоустройств ПК (встроенных и внешних) с различными характеристиками. В работе использовался радиолокатор с длиной волны *12* мм. При построении КИС была выбрана технология ВП фирмы National Instruments (NI).



Контроль струнных инструментов:
а – структурная схема комплексного контроля инструмента:
1 – струна; *2* – корпус инструмента; *3* – микрофон; *3* – радиолокатор; *5* – вибродатчик;
6 – система ввода сигнала; *7* – система ввода акустического сигнала; *8* – компьютер;
9 – программное обеспечение; *10* – система отображения результатов; *11* – акустическая система;
б – традиционные средства контроля (метроном на базе КПК)

В качестве датчика звука применяли внешний стереомикрофонный блок Array2-SNA фирмы Andrea Electronics Corp; электретный микрофон Philips SBC ME570 (50…18 000 Гц); вибродатчики AP2037 (0,5...15 000 Гц). В качестве устройств сбора данных (аналогового ввода-вывода) использовали NI cDAQ-9172: NI 9223; NI 9263; NI 9205.

Одновременный контроль с использованием нескольких датчиков на обычной компьютерной платформе часто вызывает определенные трудности, поэтому применялась распределенная система контроля, которая обеспечивалась сетевой передачей данных с помощью Shared Variable. Это также позволило разделить функции среди ряда ВП в проекте, а сами ВП приборы верхнего уровня сделать многопрофильными приборами контроля. Более детальный анализ, определяющий влияние корпуса, производился в частотно-временной области (частотно-временная спектрограмма). Анализ частотно-временного спектра позволяет определить качество его звучания и указывать на различные дефекты конструкции или корпуса контролируемого инструмента.

С.20. **ПОГРЕШНОСТИ РОТАМЕТРОВ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Миронов Ю.С., Потапов А.И., Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия

Ротаметры используют для измерения расхода жидкости и газов, а также при контроле длин, когда по измерению расхода воздуха определяют размеры деталей.

Обычно метрологические характеристики ротаметров рассчитывают по идеальной модели: вектор силы веса поплавка совпадает с направлением потока и расположен вертикально. В условиях эксплуатации неточные юстировка и установка прибора, а также влияние вибрации основания приводят к изменению аэродинамических сил, действующих на поплавок, и к погрешностям измерения.

Показано, что реальная модель не совпадает с идеальной. Аэродинамика ротаметра исследовалась с помощью универсального микроскопа УИМ-21 при разных углах отклонения β оси трубки ротаметра от вертикали; при этом было обнаружено, что при повороте оси трубки β от 0 до 7° ось поплавка прогрессивно отклоняется на угол γ от направления оси потока. Получена экспериментальная зависимость погрешности от указанной влияющей величины. При изменении угла атаки поплавок смещается от середины потока к стенке трубки, что приводит к несимметричности обтекания и изменению коэффициента расхода.

Приведена расчетная формула, позволяющая ориентировочно оценить погрешность прибора ΔH в производственных условиях; она существенно зависит от угла отклонения трубки от вертикали β, а также от конусности K и не корелирует с расположением поплавка по длине трубки.

$$\Delta H = \frac{\left(D_T^2 - d_n^2\right)h}{\pi D_T D_n K}\gamma + \frac{D_T^2 - d_n^2}{8 D_T K}\beta^2 + \frac{3d_n^2 - D_T^2}{8 D_T K}\gamma^2,$$

где D_T – диаметр трубки в наиболее узком сечении кольцевой струи; d_n – наибольший диаметр поплавка; h – высота головки поплавка.

При проведении более точных измерений ротаметрами необходимо обращать внимание на строго вертикальное расположение осей трубок приборов, для чего рекомендовано снабжать приборы уровнем или площадкой для его установки.

С.21. ДИАГНОСТИКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПОРЭМИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВИРТУАЛЬНЫХ ДАТЧИКОВ

Молочков К.А., Дзержинск, Россия

Доклад посвящен использованию виртуальных датчиков состояния технологического оборудования в процессе функционирования производства. Представлены теоретические и практические результаты реализации датчиков состояния на примере диагностики основного оборудования процесса производства порэмита.

Автоматическое диагностирование оборудования возможно с помощью аппаратного и тестового контроля. Под аппаратным контролем понимаем периодический опрос технических средств, позволяющих проверить работоспособность объекта (встроенная в объект функция аппаратного самотестирования). Тестовое диагностирование подразумевает подачу на объект контрольного воздействия и сравнение реакции этого объекта с эталонными ответами.

В ряде случаев невозможно реализовать аппаратный контроль оборудования. Это может быть связано как с конструктивными проблемами (конструкция объекта не предусматривает установку датчиков состояния), так и из-за ограниченности бюджета проекта. Поэтому возникла необходимость оценки состояния оборудования по косвенным параметрам с использованием информационной избыточности, основанной на математической модели.

В общем случае состояние виртуального датчика можно представить в виде зависимости

$$S(t) = \left| f(t, x_1, x_2, \ldots x_n) - f_m(t, x_1, x_2, \ldots x_n) \right|, \qquad (1)$$

где $S(t)$ – показания виртуального датчика; $f(t, x_1, x_2, \ldots x_n)$ – функция изменения диагностических признаков, полученных с реального производства от времени; $f_m(t, x_1, x_2, \ldots x_n)$ – функция изменения диагностических признаков, получаемых с модели производства от времени.

Например, для технологической линии дробилка – вертикальный конвейер – аппарат растворения процесса получения окислителя при производстве порэмита выражение (1) примет вид

$$S(t) = \left| f(t, L_1) - f_m(t, L_1) \right| ,$$

где $S(t)$ – показания виртуального датчика состояния агрегата дробилка – вертикальный конвейер; L_1 – уровень раствора в аппарате растворения, который напрямую зависит от работоспособности связки дробилка – вертикальный конвейер.

При прочих равных условиях в случае отсутствия отказа оборудования и адекватной модели объекта скорость изменения показаний виртуального датчика $\frac{dS(t)}{dt}$ будет колебаться в узком коридоре около нуля. Скачкообразное изменение тренда скорости, выходящее за заданные пределы, будет свидетельствовать об отказе оборудования. Использование скорости изменения показаний виртуального датчика вместо его абсолютного значения позволяет учесть накапливающееся расхождение между реальным объектом и его моделью.

В докладе рассмотрены примеры реализации данного алгоритма для других агрегатов процесса производства порэмита.

Использование таких виртуальных датчиков имеет ряд ограничений.

- Оценка функций состояния возможна лишь для непрерывных процессов, вышедших на нормальный режим работы. Это связано с трудностью создания моделей пуска, останова и перехода процесса производства из одного состояния в другое. Следовательно, оценить состояние оборудования до пуска установки или перед началом новой стадии практически невозможно.
- В случае периодических процессов оценка состояния может проводиться только при непрерывном изменении параметров в рамках заданной операции. Например, оценка состояния агрегата дробилка – вертикальный конвейер процесса производства порэмита возможна лишь в рамках операции загрузки сухой аммиачной селитры стадии производства окислителя.
- Ограничена оценка состояния диагностируемого агрегата. Оценку состояния некоторых составных частей объекта можно осуществить лишь с использованием аппаратной избыточности. Например, в случае получения сигнала отказа агрегата дробилка – вертикальный конвейер невозможно определить, что именно вызвало отказ оборудования: неисправность в дробилке или в вертикальном конвейере.

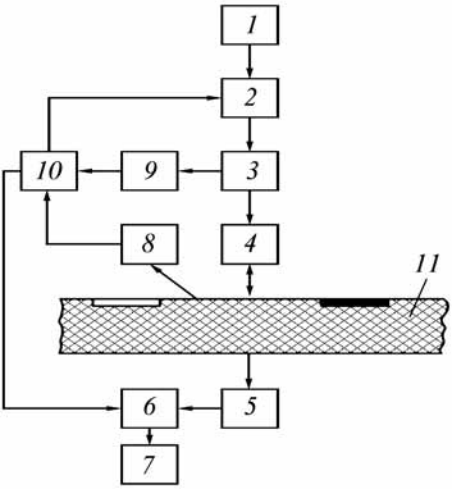
В целом предложенный метод оценки состояния оборудования может быть использован как дополнительный способ контроля объектов, не оснащенных функцией самодиагностики.

С.22. **КОМПЕНСАЦИЯ ВЛИЯНИЯ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ НА ВЫЯВЛЯЕМОСТЬ ДЕФЕКТА**

Клопов В.Д., Северо-Западный заочный технический университет,
Санкт-Петербург, Россия

При проведении оптического неразрушающего контроля натурных изделий одним из факторов, снижающих чувствительность и достоверность контроля, является состояние поверхности под излучателем. Изделия могут иметь на поверхности аномальные участки (с различными оптическими свойствами за счет разноплотности, пористости, наплывов связующего, грязи и т.п.), которые не сказываются на работоспособности из

делия и не являются дефектами изделия, но изменяют интенсивность излучения, прошедшего эти участки. А это приведет к тому, что снизится контраст выявления внутренних дефектов или даже к ложной индикации этих участков как внутренних дефектов.



С целью компенсации этого мешающего фактора на результаты дефектоскопии была разработана схема приемно-излучательного тракта с автоматическим регулированием в процессе контроля мощности падающего потока и усиления выходного усилителя. При создании системы компенсации были приняты во внимание три разновидности аномальных участков, влияние которых на коэффициент отражения и прохождения можно записать следующими соотношениями:

$$1)\ R_1 > R,\ T_1 < T;\ 2)\ R_2 < R,\ T_2 > T;\ 3)\ R_3 < R,\ T_3 < T,$$

где T и R – коэффициенты пропускания и отражения для участка без аномалий поверхности, $R_{1,2,3}$ и $T_{1,2,3}$ – те же коэффициенты для конкретного случая.

Первые соотношения относятся к случаю участка с оптической плотностью большей, чем у качественного участка поверхности. Вторые соотношения для противоположного случая, т.е. для участка с меньшей оптической плотностью. Третьи соотношения характеризуют случай, когда оптическая плотность мала за счет присутствия рассеивающего фактора (шероховатость, пористость).

Из первых и вторых соотношений видно увеличение (уменьшение) коэффициента пропускания. В третьем же случае уменьшение коэффициента отражения не приводит к увеличению коэффициента пропускания, так как входящий поток ослабляется за счет рассеяния на поверхности.

Излучение от источника *1* через затвор *2* и призму *3* попадает на излучатель *4*, который направляет его на изделие *11*. Прошедшее сквозь изделие излучение попадает на приемник прошедшего излучения *5*, где преобразуется в электрический сигнал, который поступает на усилитель *6* и далее на регистратор *7*. Если рассеянное излучение отсутствует, то коммутатор *10* подключает выход приемника отраженного излучения *9* к управляющему входу усилителя *6*.

В этом случае отраженное от поверхности излучение попадает через призму *3* в приемник отраженного излучения *9*, где преобразуется в электрический сигнал и далее через коммутатор *10* на управляющий вход усилителя *6*, увеличивая усиление усилителя, если отраженный сигнал увеличивается, и уменьшая, если отраженный сигнал уменьшается.

Если имеется рассеянное излучение, то коммутатор *10* выход приемника отраженного излучения *9* подключает к управляющему входу затвора *2*. В этом случае отраженное от поверхности излучение через призму *3*, приемник отраженного излучения *9* и коммутатор *10* поступает на управляющий вход затвора *2*, увеличивая мощности падающего потока до тех пор, пока отраженный сигнал не будет равен опорному отраженному сигналу (т.е. сигналу участка без аномалий).

С.23. **СВЧ-КОНТРОЛЬ ВЛАЖНОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ**

Клопов В.Д., Северо-Западный заочный технический университет,
Санкт-Петербург, Россия

В настоящее время в народном хозяйстве широко используются изделия и конструкции из стеклопластиков. Их эксплуатационные свойства, такие как прочность, однородность электрических характеристик по площади конструкции и т.д., зависят, в частности, от наличия влаги в них. Кроме того, эти свойства при наличии влаги будут зависить от температуры окружающей среды.

Предварительный анализ задач по производственному контролю влажности, в частности, стеклопластика с погрешностью до 10 % показывает перспективность использования радиоволн СВЧ, применение которых не требует обязательного контакта с объектом контроля, обеспечивает быстродействие и по физике взаимодействия с увлажненным материалом обеспечивает высокую чувствительность к влаге в широком диапазоне.

Преимущественное распространение находят методы СВЧ-измерений влажности, основанные на затухании радиоволн в увлажненных материалах. В работе использовался датчик с диэлектрическим волноводом.

Эксперименты проводились на образцах стеклопластика марки ТС8/3-250 (смола ЭДТ-10), которые имели размер 150×150×20 мм и кажущуюся плотность 1,08; 1,41; 1,64 г/см^3.

Увлажнение в них производилось замачиванием в течение суток, что обеспечивало максимальную влажность 0,54 % для образца плотностью 1,64 г/см^3, 4,7 % для образцов плотностью 1,41 г/см^3 и 7,4 % для образца плотностью 1,08 г/см^3. Массовая доля влаги определялась весовым методом.

Второй разновидностью образцов, иследованных при их увлажнении, были образцы трехслойной конструкции – обшивки из стеклопластика толщиной 2 мм и средним стеклопластиковым сотовым слоем толщиной 35 мм. Увлажнение образцов производилось их замачиванием в воде. Изменение массовой доли влаги осуществлялось их высушиванием в термошкафу. Они измерялись в диапазоне от 0 до 24 % массовой доли влаги.

Результаты измерения образцов стеклопластика разной плотности сведены в табл. 1 (плотностью 1410 кг/м^3) и 2 (плотностью 1080 кг/м^3), трехслойного образца – в табл. 3.

1. Плотность 1410 кг/м^3

Массовая доля влаги, %	Потенциал, (мВ)
0	9,6
0,4	9,0
0,6	8,8
3,4	6,2
3,7	5,9
4,3	4,8
5,4	3,7

2. Плотность 1080 кг/м^3

Массовая доля влаги, %	Потенциал, (мВ)
12,1	0
11,9	0,1
11,6	0,2
9,8	2,4
9,7	3,0
8,9	3,4
7,3	5,4

3. Трехслойный образец

Массовая доля влаги, %	Потенциал, (мВ)
0	15,0
0,7	14,7
5,0	12,6
8,5	9,8
11,6	8,0
13,4	7,4
14,7	6,0

Как видно из полученных данных, наблюдается четкая зависимость сигнала от влажности материала.

С.24. **МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ**

Костюков В.Н., НПЦ «Динамика», Омск, Россия

Рассмотрены особенности мониторинга состояния оборудования в реальном времени (РВ-мониторинг) и его отличия от on-line and off-line-мониторинга. Рассмотрена модель системы мониторинга с учетом человеческого фактора, которая показывает, что наблюдаемость состояния агрегатов и производственного комплекса оборудования (ПК) в целом может быть обеспечена измерением диагностических сигналов (вибропараметров) и скоростей их изменения, которые адекватно отражают, с точностью до масштаба, обобщенные погрешности агрегатов и скорости их роста, остаточный ресурс и скорость его потери, а также безопасность комплекса в целом.

Предложено в качестве переменных состояния агрегата использовать детерминированные парциальные функции старения и их скорости, определяемые обобщенными погрешностями, структурными параметрами и скоростями их роста. Выявлены закономерности эксплуатации агрегатов производственных комплексов, состоящие в спорадическом характере актов управления, которые положены в основу обобщенной математической модели системы мониторинга, учитывающей человеческий фактор.

Предложено оценивать техническое состояние ПК и опасность потери им работоспособности, соответственно, по минимальной остаточной работоспособности и максимальной скорости ее потери, наблюдаемых системой диагностики и мониторинга (СДМ) среди коллектива агрегатов, составляющих комплекс. Предложено оценивать необходимое быстродействие СДМ по критерию наблюдаемости максимальной скорости потери остаточной работоспособности нефтехимическим комплексом. Получены аналитические оценки и построены номограммы для определения максимальной допускаемой ошибки диагностики технического состояния агрегатов ПК при существующем потоке отказов и требуемом риске пропуска отказа. Сформулирован критерий эффективности управления состоянием агрегатов ПК по минимуму вероятности пропуска отказа, аварии или производственной неполадки. Получены аналитические оценки увеличения ресурса безопасного пробега ПК в зависимости от уменьшения максимальной ошибки СДМ.

Следствия теории: РВ-мониторинг позволяет перевести отказы оборудования и производственных комплексов из категории внезапных в категорию постепенных. Необходимость снижения отказов в десятки раз и соответствующего увеличения межаварийных пробегов оборудования требует снижения ошибок мониторинга до единиц процент, и менее (нуль-мониторинг). Снижение статической ошибки и сокращение сроков внедрения систем РВ-мониторинга до нескольких месяцев требует разработки безэталонных методов диагностики и стандартных процедур формирования диагностических признаков, инвариантных к типу оборудования. Снижение динамической ошибки мониторинга требует существенного превышения темпов мониторинга, т.е. не только измерений, но и постановки диагноза и его исполнения, над темпами развития неисправностей в производственных комплексах. Это исключает использование ручного труда посредством автоматизации всех процедур мониторинга от измерения параметров и автоматизации диагностического вывода о состоянии оборудования до его беспрепятственной и своевременной доставки и представления на всех уровнях управления производственным комплексом.

Практическая реализация изложенных теоретических подходов в системах комплексного мониторинга КОМПАКС®, использующих различные методы диагностирования – виброакустические, акусто-эмиссионные, тепловые, электрические и др., обеспечило их широкую инсталляцию, более 400 за последние 15 лет, часто почти под от-

крытым небом, на предприятиях крупнейших компаний – ОАО «Газпром», ОАО «Лукойл», ОАО «Роснефть», ОАО «РЖД» и др., а также за рубежом, на отечественном и импортном оборудовании более 1000 типов, в различных географических и климатических зонах.

С.25. **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ОТБОРА ДЛЯ КОМПТОНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ НА БАЗЕ МНОГОКАНАЛЬНОГО КОЛЛИМАТОРА**

Белкин Д.С., Капранов Б.И., ТПУ НИИИН, Томск, Россия

В данной работе рассмотрена система с использованием многоканального коллиматора, исследована геометрия прохождения излучения через его пластины и разработана новая технология сборки устройства.

В отличие от трансмиссионной томографии, характеризуемой относительной универсальностью аппаратного и программного обеспечения, конструктивные и алгоритмические особенности томографов на обратном рассеянии определяются конкретной формой объекта и задачей реконструкции. В общем случае томографы на обратном рассеянии включают в себя источник и систему детектирования рассеянного излучения. Количество зарегистрированных фотонов, рассеянных от определенного воксела, пропорционально его плотности, линейного коэффициента рассеяния и зависит от распределения плотности по исходному пути и пути, по которому проходит до детектора рассеянное излучение. Проблема реконструкции заключается в селектировании фотонов, рассеянных от конкретного воксела, и в компенсации влияния распределения плотности по путям распространения излучения на его ослабление. Селекция осуществляется использованием либо специальных систем колллимации источника и детектора, либо координатно-чувствительных детекторов, компенсация ослабления – только программным путем.

В качестве коллиматоров используются щелевые, цилиндрические, сотовые, многоканальные коллиматоры, пинхолы. Коллиматор обеспечивает однозначный перенос точки на объекте контроля в точку в пространстве наблюдений. В простейшем случае он выполняется в виде свинцовой пластины с отверстием, соответствующим размеру входного окна детектора.

На рис. 1 показана геометрия системы регистрации с многоканальным коллиматором.

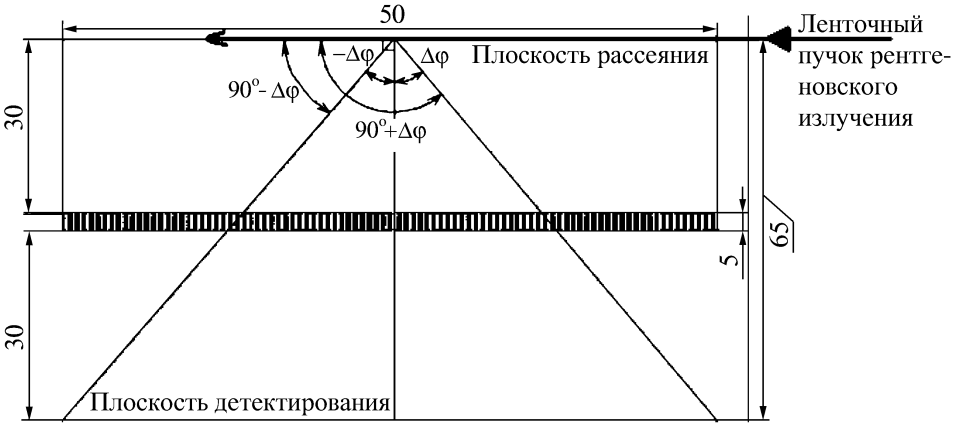


Рис. 1. Геометрия системы регистрации с многоканальным коллиматором

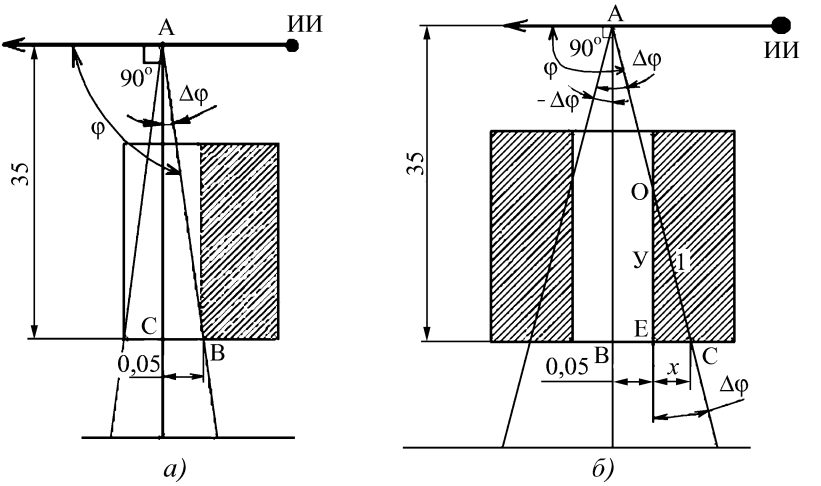


Рис. 2. Геометрия системы прохождения излучения через коллиматор

На рис. 2 показана геометрия прохождения излучения через отдельные пластины коллиматора: *А* – прохождение через канал-пропускатель (без потерь); *Б* через пластины поглотителя.

На основании рассмотренной геометрии и проведенных расчетов была построена апертурная функция (рис. 3).

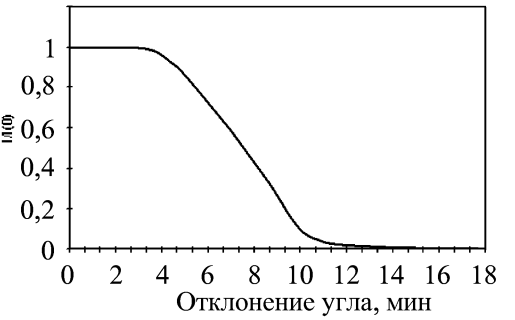


Рис. 3. Апертурная функция

Разработанная технология позволила изготовить образец многоканального коллиматора с целью исследования возможностей его применения в системах комптоновской томографии. Коллиматор представляет собой набор из поглощяющих и пропускающих материалов. В качестве пропускающих материалов используется леска диаметром 0,5 мм, а в качестве материала поглотителя – медная проволока диаметром 0,5 мм. Чередующиеся каналы коллиматора (поглотитель/пропускатель) образуют так называемые слои, которые при наложении друг на друга образуют готовое устройство многоканального коллиматора.

Практические исследования показали, что данная конструкция при условии соблюдения высокой точности сборки может применяться в системах комптоновской томографии.

Литература

1. **Томография** на рассеянном излучении: метод. пособие / В.А. Горшков, М. Кренинг, Ю.В. Аносов, О. Доржгочоо; под. ред. В.А. Горшкова. М.: Технополиграфцентр, 2002. 146 с.

2. **Неразрушающий** контроль и диагностика: справочник / В.В. Клюев, Ф.Р. Соснин и др.; под. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение. 488 с.

3. **Капранов Б.И., Маклашевский В.Я., Филинов В.Н. и др.** Томография на комптоновском обратном рассеянии. Состояние и перспективы (обзор) // Дефектоскопия. 1994. № 10. С. 36–53.

С.26. ГЕОМЕТРИЧЕСКАЯ АПЕРТУРА КОЛЛИМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ИХ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ

Дашиева О.Ц., Короткова И.А., Капранов Б.И., НИИИН ТПУ, Томск, Россия

Рассмотрен пример экспериментального определения апертурной функции сканирующей системы томографа на обратном рассеянии на примере системы ComScan

В конструкции ComScan первичный пучок формируется с помощью щелевого коллиматора шириной 0,4 мм и вращающимся барабаном со спиральной щелью по диаметру барабана на длине 50 мм с поворотом на 180 °. Коллимация рассеянного излучения осуществляется с помощью щелевых диафрагм с раскрытием 0,6 мм, образуемых блендами, длиной 50 мм.

На рис. 1 представлена схема сканирования по осям x и y. Сканирование по оси y осуществляется перемещением пучка излучения в направление оси y. Дискретность (шаг) – 0,2 мм. Сканирование по оси x осуществляется перемещением стола по оси x (перемещение щели). Дискретность (шаг) – 0,2 мм. Сканирование по оси z осуществляется 22 детекторами, каждый из которых видит свой слой. Координаты центров слоев заданы конструктивно. Дискретность (шаг) для бленды 10 мм – 0,45 мм.

Пересечение первичного пучка излучения и зоны чувствительности детекторов формирует рассеивающий объем (РО), которым проводится сканирование объекта.

Для исследования апертурных функций были рассчитаны уравнения прямых для определения зон чувствительности первого, девятого и 22-го детектора соответственно:

$z_1(x) = -0{,}94x + 8{,}1$; $z_2(x) = -x + 9{,}2$;

$z_1(x) = -1{,}21x + 11{,}68$; $z_2(x) = -1{,}28x + 13{,}17$;

$z_1(x) = 1{,}67x + 17{,}85$; $z_2(x) = 1{,}75x + 19{,}7$.

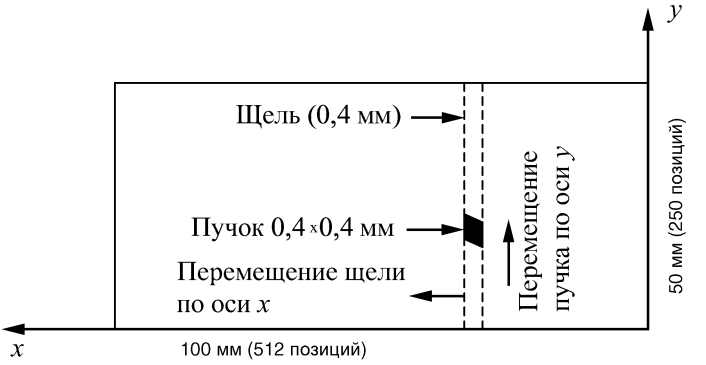


Рис. 1. Схема сканирования томографа ComScan

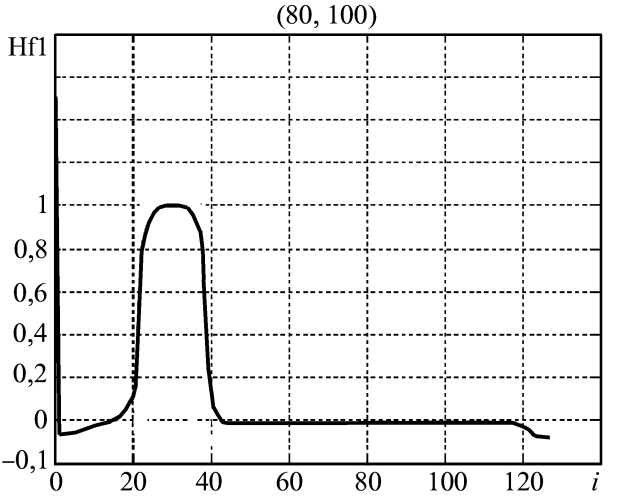


Рис. 2. Апертурная функция по оси *z* для точки (80, 100)

Исходя из геометрии РО были рассчитаны апертурные функции по оси *z* для зоны контроля 10 мм. Для экспериментального исследования АФРО были проведены измерения на эталонном образце и получены массивы экспериментальных данных в плоскости *xy*.

По скорректированным массивам данных по оси *x* построены зависимости сигнала в детекторе при перемещении по оси *z*. Здесь одновременно скорректировано экспоненциальное уменьшение сигнала с увеличением глубины слоя.

Для экспериментального определения апертурной функции РО (АФРО) использовано свойство преобразования Фурье для свертки двух функций:

$$F[N(z)] = F[h(z)\rho(z)] = F[h(z)]F[\rho(z)],$$

где $F[N(z)]$ – преобразование Фурье-сигнала, снимаемого с детектора; $F[h(z)]$ – преобразование Фурье от апертурной функции; $F[\rho(z)]$ – преобразование Фурье от распределения плотности в объекте контроля. Исходя из этого можно найти спектры массива данных $N(z)$ и истинного распределения плотности образца $\rho(z)$. Тогда спектр апертурной функции можно выразить как:

$$F[h(z)] = \frac{F[N(z)]}{F[\rho(z)]}.$$

На основе использования полученных АФРО разработан алгоритм реконструкции, позволяющий по известному массиву экспериментальных данных и полученному выражению для апертурной функции восстановить распределение плотности в объекте контроля.

Алгоритм реализован в системе MATLAB и состоит из следующих этапов:

этап 1 – преобразование Фурье от апертурной функции с применением функции *fft*;

этап 2 – преобразование Фурье от массива экспериментальных данных с помощью функции *fft*;

этап 3 – процедура деления преобразования Фурье массива данных на преобразование Фурье апертурной функции (согласно формуле 23), тем самым получается спектр распределения плотности в объекте контроля;

этап 4 – фильтрация спектра восстановленного распределения плотности в объекте контроля;

этап 5 – обратное преобразование Фурье от результата, полученного на этапе 4, с помощью функции *ifft*.

этап 6 – нормирование значения восстановленного распределения плотности в объекте контроля.

В данной работе получены апертурные функции при сканировании по оси *z* для зоны контроля 10 мм двумя способами: теоретически, исходя из геометрии РО и с помощью преобразования Фурье экспериментальных данных для эталона. Полученные математические выражения для апертурных функций рассеивающего объема томографа «ComScan» позволяют использовать аппарат математической реконструкции для улучшения его пространственного разрешения, а также он может изменяться во всех системах комптоновской томографии.

С.27. **МОДИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА ОБРАТНОГО ПРОЕЦИРОВАНИЯ К ЗАДАЧАМ КОМПТОНОВСКОЙ ТОМОГРАФИИ**

Кривовяз С.В., Братусь М.О., Капранов Б.И., ТПУ НИИ ИН, Томск, Россия

В работе рассмотрена возможность использования классического метода реконструкции по обратным проекциям применительно к задачам комптоновской томографии.

Использование рассеянного излучения позволяет сделать доступ к объекту контроля односторонним. Существующие томографы на рассеянном излучении отображают распределение интенсивностей по локальным объемам (точкам). Было бы удобно использование уже существующих алгоритмов восстановления изображения при облучении объекта контроля не тонким лучом, а плоским (как при обычных методах просвечивания).

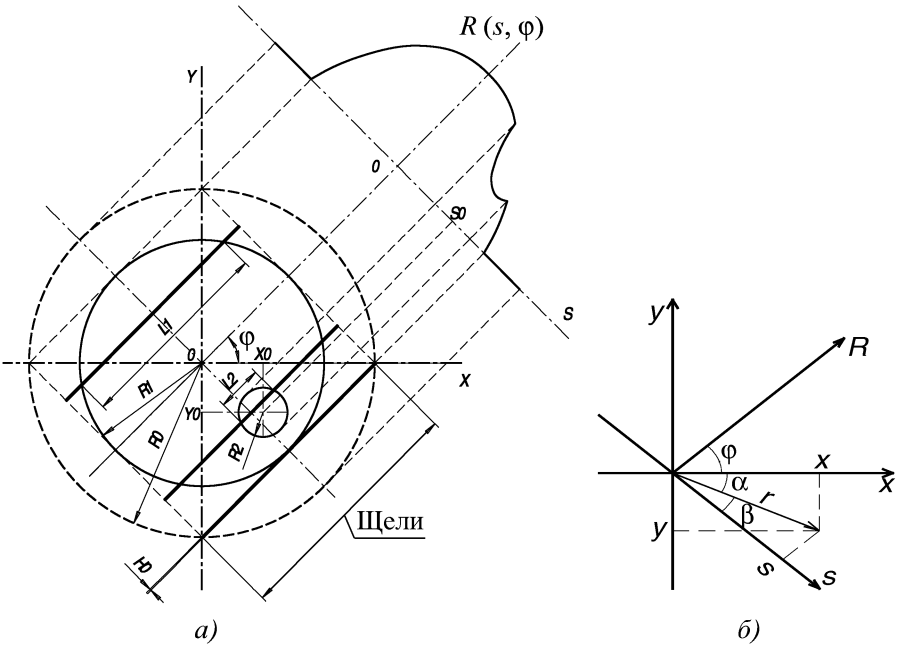


Рис. 1. Связь между (*s*, φ)- и (*x*, *y*)-пространствами

На рис. 1, *а* показана зависимость $R(s, \varphi)$, которая представляет собой радоновский образ объекта и является распределением рассеянного комптоновского излучения в зависимости от положения щели коллиматора s при заданном угле φ. Из рис. 1, *а* также видно что для каждого слоя объекта зависимость рассеивания $R(\mathrm{s}, \varphi)$ пропорциональна области объекта, в котором происходит рассеяние (например, $L_1 \cdot H_0$). Поэтому при моделировании данных, получаемых при сканировании удобно представить данные как зависимость от длины L, равной длине хорды для круга R_1 на расстоянии от центра s, за вычетом длины хорды для круга R_2, при сканировании на отверстии.

$R(\mathrm{s}, \varphi)$ – площадь проходящей через материал объекта линейной щели. Приближенно эта площадь равна площади прямоугольника со сторонами H_0 и L (при малом H_0):

$$R(s,\varphi) = H_0 L(s,\varphi), \tag{1}$$

где $L(s,\varphi) = L_1(s,\varphi) - L_2(s,\varphi)$; L_1 – длина хорды для круга R1 на расстоянии от центра s (рис. 1, *а*); L_2 – длина хорды для круга R_2 на расстоянии от центра $S_0(\varphi) - s$ (рис. 1, *а*), $S_0(\varphi)$ – расстояние от центра отверстия до линии, соответствующей $S(\varphi) = 0$

Из рис. 1, *б* видно, что: $s = r\cos(\beta)$; $\beta = \frac{\pi}{2} - \varphi - \alpha$; $x = r\cos(\alpha)$; $y = r\sin(\alpha)$.
$\mathrm{s} = r[\sin(\varphi)\cos(\alpha) + \cos(\varphi)\sin(\alpha)] = x\sin(\varphi) + y\cos(\varphi)$

$$S_0(\varphi) = x_0 \sin\varphi + y_0 \cos\varphi. \tag{2}$$

Выражение верно для любой точки (x,y), поэтому связь между координатами получаемых данных и координатами изображения можно описать следующей формулой:

$$S(\varphi) = x\sin\varphi + y\cos\varphi. \tag{3}$$

Теперь задача заключается в вычислении величины $[Bp](x, y)$ по данным f, где $f_i = R(s_i, \varphi_i)$. Для M равномерно распределенных в пространстве параллельных лучей в каждом ракурсе, пусть Δ обозначает угол между направлениями ракурсов (так что $\Delta = \pi/M$), а d – шаг между параллельными лучами.

$$[Bp](x,y) = \int_0^{\pi} R(s,\varphi)d\varphi, \tag{4}$$

$$[Bp](x,y) = \int_0^{\pi} R(x\sin\varphi + y\cos\varphi, \varphi)d\varphi. \tag{5}$$

Аппроксимируем правую часть выражения суммой Римана для данного интеграла

$$\Delta\sum_{m=1}^{M-1} R(x\sin(m\Delta) + y\cos(m\Delta), m\Delta), \tag{6}$$

а затем произведем оценку для каждого значения m величины $R(x\sin(m\Delta) + y\cos(m\Delta), m\Delta)$ по известным значениям $R(nd, m\Delta)$ $(-N \le n \le N)$ путем интерполирования.

При линейной интерполяции n выбирают так, чтобы

$$nd < x\sin(m\Delta) + y\cos(m\Delta) < (n+1)d,$$

и вычисляют $R(x\sin(m\Delta) + y\cos(m\Delta), m\Delta)$ по формуле:

$$\frac{(n+1)d - x\sin(m\Delta) - y\cos(m\Delta)}{d} R(nd, m\Delta) + \frac{x\sin(m\Delta) + y\cos(m\Delta) - nd}{d} R((n+1)d, m\Delta). \tag{7}$$

На рис. 2 в оттенках серого цвета представлено получаемое изображение реконструируемого слоя объекта.

Алгоритмы реконструкции с использованием только обратного проецирования не позволяют получать такие же хорошие изображения, как те, которых достигают более сложными алгоритмами реконструкции. Поэтому целесообразно использовать полученный алгоритм лишь как основу более сложного алгоритма, позволяющего достичь более точных изображений. Представленный алгоритм и программы реконструируют один слой объекта. Для получения полной томографической картины требуется применить программы к данным, получаемым из каждого слоя. В перспективе планируется использование данного алгоритма и схемы сканирования для создания экспериментального комптоновского томографа.

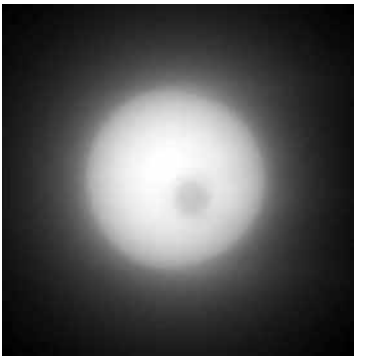


Рис. 2. Реконструированное изображение слоя объекта

Литература

1. **Сизиков В.С.** Математические методы обработки результатов измерений: Учебник. СПб.: Политехника, 2001. 240 с.
2. **Неразрушающий контроль** и диагностика / под ред. Сухорукова. Т. 5.
3. **Хермен Г.** Восстановление изображений по проекциям: Основы реконструктивной томографии: пер. с англ. М.: Мир, 1983. 349 с.

С.28. **НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИНФРАКРАСНОЙ ТЕРМОГРАФИИ**

Вавилов В.П., Нестерук Д.А., ТПУ НИИ ИН, Томск, Россия

В последние годы в ряде стран (США, Германия) начаты исследования в области ультразвуковой инфракрасной (ИК) термографии. В отличие от классического теплового контроля, объекты испытаний возбуждаются непрерывным или импульсным ультразвуком, в результате чего реализуется так называемый принцип «темного поля»: основной материал остается «холодным», в то время как структурные неоднородности малых размеров нагреваются вследствие трения стенок.

В докладе приводятся первые результаты, полученные в Томском НИИ интроскопии с использованием компьютерной тепловизионной системы ThermaCAM P65 HS (температурная чувствительность 60 мК, частота записи кадров 25 Гц) и магнитострикционного ультразвукового преобразователя (частота 20 кГц, мощность до 300 Вт). На примере контроля трещин и расслоений в композиционных материалах продемонстрированы различия между результатами классической и ультразвуковой ИК-термографии и сделан вывод о перспективности последнего метода при испытаниях объектов сложной формы.

С.29. ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ХАРКТЕРИСТИК ДЕТЕКТОРА ОБРАТНОРАССЕЯННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ПИНХОЛЬНЫМ КОЛЛИМАТОРОМ

Мудров М.А., Капранов Б.И., ТПУ НИИИН, Томск, Россия

Основной задачей комптоновской томографии является перенос информации о плотности элементарного объема в изделии (ЭЛОБ) в наблюдаемый параметр в соответствующей точке регистратора. В существующих, практически реализованных системах такой перенос производится поточечно. Последовательно облучаются ЭЛОБы и последовательно заносится информация в соответствующие точки регистратора. Недостатком такого способа является низкая производительность и невозможность создать хорошую статистику при измерении потока рассеянных квантов. Так, в томографе ComScan за время измерения в одном пикселе набирается около 1000 квантов. Использовать такие данные для разработки реконструктивных алгоритмов не представляется возможным, а повысить разрешающую способность до десятых долей миллиметра невозможно без математической реконструкции.

Производительность реконструкции повышается при использовании двухкоординатного позиционно-чувствительного детектора с пинхольной апертурой.

В работе исследованы пространственно-временные характеристики пинхола в зависимости от его геометрических размеров и геометрии регистрации.

1. Фактор увеличения M:

$$M = -b/a,$$

где b – расстояние между пинхолом и детектором, мм; a – расстояние пинхол – точечный рассеиватель, мм.

2. Пространственное разрешение системы R_{sys} .

$$R_{sys} = (R_{ph}^2 + (R_i/M)^2)^{1/2},$$

где R_{ph} – пространственное разрешение пинхола, мм; R_i – собственное разрешение сцинтилляционного кристала, мм.

3. Пространственное разрешение пинхола R_{ph}:

$$R_{ph} = d(b + a)/b,$$

где d – диаметр пинхола, мм.

4. Чувствительность G:

$$G = 1/16\cdot(d/b)^2\cdot(a + b).$$

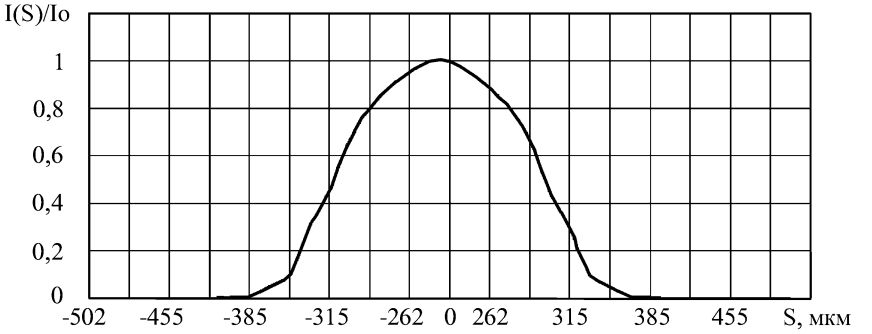
5. Эффективный диаметр d_e:

$$d_e = \sqrt{d(d + 2\mu^{-1}\tan(\alpha/2))},$$

где μ – линейный коэффициент поглощения стенками пинхола, см$^{-1}$; α – конический угол коллиматора, град.

В известных работах по коллимированнию с помощью пинхола, как правило, не учитывается фактор неоднородности систем регистрации, связанный с формой «губок» пинхола. Детальное описание апертурной функции рассеивающего объема (АФРО) пинхола должно учитывать как геометрические искажения, так и учет поглощения в «губках».

В данной работе впервые проведен комплексный анализ влияния геометрических факторов и свойства материала коллиматора на математическую форму АФРО.



Апертурная функция

На рисунке представлена оптимизированная апертурная функция пинхольного коллиматора с треугольными губками с диаметром 1 мм, полученная с учетом изменения угла зрения при отклонении от оси, с учетом ослабления в губках рентгеновского излучения при напряжении на аноде 160 кВ, рассеяния в материале губок.

Эта апертурная функция является базой для разработки алгоритма реконструкции в комптоновской томографии. Приведенные в данной статье результаты позволяют впервые заложить в алгоритм реконструкции представления АФРО в виде непрерывной функции.

Литература

1. **Хермен Г.** Восстановление изображений по проекциям: Основы реконструктивной томографии / Пер. с англ; под ред. Л.М. Сороко. М.: Мир, 1983. 352 с.

2. **Горшков В.А., Кренинг М., Аносов Ю.В., Доржгочоо О.** Томография на рассеянном излучении: метод. пособие / под. ред. В.А. Горшкова. М.: Технополиграфцентр, 2002. 146 с.

4. **Капранов Б.И., Маклашевский В.Я., Филинов В.Н. и др.** Томография на комптоновском обратном рассеянии. Состояние и перспективы (обзор) // Дефектоскопия. 1994. № 10.С. 36–53.

С.30. **ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ПОСРЕДСТВОМ ИЗМЕРЕНИЯ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ И ПАРАМЕТРОВ ШУМОВ БАРКГАУЗЕНА**

Горкунов Э.С., Поволоцкая А.М., Соловьев К.Е., Задворкин С.М.,
Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия

При исследовании магнитных характеристик как параметров контроля напряженно-деформированного состояния стальных изделий необходимо учитывать следующие обстоятельства. Во-первых, возникающие в результате пластической деформации на стадии изготовления остаточные напряжения, как правило, являются анизотропными, вследствие чего измерения магнитных характеристик следует проводить не менее чем в двух направлениях. Во-вторых, сами величины напряжений могут изменяться по длине деформированного образца вследствие возникновения значительных структурных неоднородностей в отдельных объемах материала.

Исследования гистерезисных свойств, в частности коэрцитивной силы, проводили на плоских разрывных образцах из нормализованной стали 45, подвергнутых пластической деформации одноосным растяжением в различной степени. Величину истинной

деформации ε варьировали в интервале от 0 до 0,12. Выбор максимальной величины степени пластической деформации обусловлен тем обстоятельством, что при больших степенях деформации происходит образование шейки и нарушается однородность распределения деформации по рабочей части образцов. Использовали П-образный приставной электромагнит с сечением полюсов 16×4 мм и расстоянием между полюсами 8 мм. Измерения проводили в двух взаимно перпендикулярных направлениях вдоль и перпендикулярно оси деформации, в восьми точках, равномерно расположенных по всей длине рабочей части образцов. Кроме измерений коэрцитивной силы по той же схеме измеряли параметры шумов Баркгаузена (среднеквадратичное значение напряжения и полуширину огибающей магнитных шумов) с помощью цифрового анализатора шумов Баркгаузена «MICROSCAN 600».

Пластическая деформация на всех пластинах, кроме одной, была достаточно однородной, что подтверждается постоянством значений коэрцитивной силы, измеренной по всей длине образцов.

Проведенные исследования показали, что коэрцитивная сила, измеренная вдоль оси растяжения, существенно возрастает с увеличением степени пластической деформации. Величины коэрцитивной силы, измеренные в перпендикулярном оси растяжения направлении, также увеличиваются с ростом степени деформации, но данное изменение значительно меньше, чем в первом случае.

В отличие от коэрцитивной силы параметры шумов Баркгаузена при измерениях вдоль и перпендикулярно оси растяжения ведут себя противоположным образом: среднеквадратичные значения напряжения при измерениях вдоль оси деформации падают, в перпендикулярном направлении – растут, а значения полуширины огибающей магнитных шумов увеличиваются при измерениях вдоль оси деформации и снижаются в перпендикулярном оси растяжения направлении. Однако следует отметить, что при степени деформации свыше 0,04 исследованные параметры шумов Баркгаузена практически не зависят от степени деформации.

На одной из исследованных пластин были выявлены возникшие в процессе деформации четко выраженные структурные неоднородности, вблизи которых при измерениях в различных точках по длине образца значительно изменялись как коэрцитивная сила, так и параметры шумов Баркгаузена. Наблюдаемые зависимости магнитных характеристик могут однозначно указывать на существенные отличия внутренних напряжений вблизи этих структурных неоднородностей от среднего уровня остаточных напряжений по всему образцу.

Таким образом, показана принципиальная возможность оценки степени пластической деформации по измерениям коэрцитивной силы во всем интервале ε, в то время как параметры магнитных шумов Баркгаузена применимы для этих целей в гораздо меньшем интервале степеней деформации.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант РФФИ № 08-08-90030-Бел_а).

С.31. **ОЦЕНКА СТЕПЕНИ ДЕФОРМАЦИИ КОНСТРУКЦИОННЫХ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ ТИПА ЖГР ПО ИХ МАГНИТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ**

Горкунов Э.С., Субачев Ю.В., Митропольская С.Ю., Задворкин С.М.,
Коковихин Е.А., Ульянов А.И.*,
Институт машиноведения УрО РАН, Екатеринбург, Россия;
*Физико-технический институт УрО РАН, Ижевск, Россия

Представлены результаты изучения влияния деформации прокаткой на структуру и магнитные свойства порошковой конструкционной стали типа ЖГр. Спеченные мате-

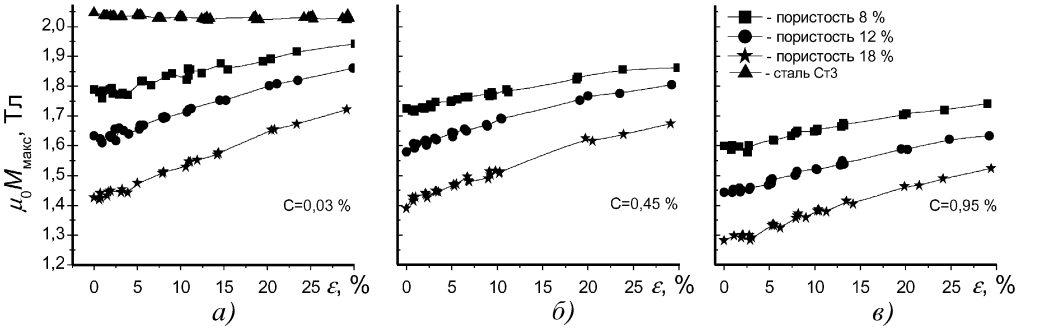


Рис. 1. Деформационное поведение максимальной намагниченности исследованных образцов:
а – С = 0,3 %; *б* – С = 0,45 %; *в* – С = 0,95 %

риалы отличаются тем, что всегда имеют некоторую остаточную пористость, которая значительно уменьшает их прочность, что диктует необходимость, во-первых, изыскивать технологические приемы, улучшающие развитие межчастичных связей, а во-вторых, разрабатывать методы неразрушающего контроля структуры и прочностных свойств таких материалов. Среди технологических приемов упрочнения наряду с оптимизацией процессов формования, спекания, легирования и термической обработки прибегают и к деформационным обработкам по определенным режимам. Для неразрушающего контроля степени деформации спеченных порошковых сталей типа ЖГр эффективными можно считать магнитные методы, поскольку намагниченность насыщения весьма чувствительно реагирует на пористость ферромагнитного материала, а коэрцитивная сила – на изменение содержания связанного углерода в композиции [1].

Для исследований изготовили образцы в виде параллелепипедов 65×10×10 мм из порошковой стали типа ЖГр с различными содержанием углерода (0,03; 0,45 и 0,95 вес. %) и пористостью (8, 12, и 18 %). Исходными компонентами смеси были порошки железа марки ПЖВ 2.160.26 и графита. Средний размер частиц порошка железа составлял 160 мкм. В качестве связки при прессовании использовали стеарат цинка. Спекание осуществляли в защитной атмосфере диссоциированного аммиака при температуре 1200 °С. Пористость образцов варьировали давлением прессования, а содержание углерода – количеством введенного в шихту порошка графита. Для сравнения в качестве беспористого материала была изготовлена группа образцов из стали марки Ст3 (0,14…0,22 % С).

Образцы подвергали деформации прокаткой до степеней деформации $\varepsilon \approx 30$ % с шагом 0,5…6,0 %. Прокатку осуществляли вдоль длинной оси образца на стане Дуо 260 с постоянной скоростью прокатки при комнатной температуре.

Выполнены комплексные измерения рассматриваемых материалов как в исходном состоянии, так и на различных этапах деформации. Измерения включали в себя: определение пористости гидростатическим взвешиванием в глицерине, определение магнитных характеристик в замкнутой магнитной цепи по схеме пермеаметра, определение удельного электрического сопротивления, определение параметров электромагнитно-акустического преобразования, твердости по Бринеллю, внутренних напряжений на рентгеновском дифрактометре, также проводили микроструктурные исследования.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы.

1. Величина пористости сталей всех составов при деформации около 30 % сокращается вдвое, при этом максимальная намагниченность монотонно повышается (рис. 1) в виду сокращения объемной доли пор по отношению к объемной доли металла в мате-

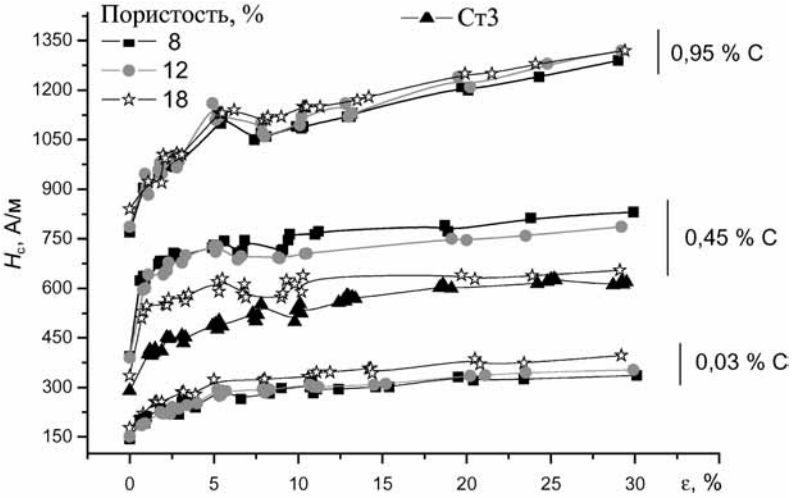


Рис. 2. Деформационное поведение коэрцитивной силы исследованных образцов

риале. Сравнение имеющихся модельных представлений о влиянии пористости на намагниченность и твердость порошкового спеченного материала [1] и полученных в данной работе зависимостей подтверждает наблюдаемую металлографически анизотропию структурных составляющих в направлении прокатки.

2. Характер изменения коэрцитивной силы исследованных образцов из порошковой стали ЖГр и литой стали марки Ст3 с ростом степени деформации одинаковый (рис. 2), при этом пористость не оказывает существенного влияния на величину коэрцитивной силы. С ростом степени деформации величина коэрцитивной силы возрастает монотонно, что связано с увеличением плотности дефектов кристаллического строения, в первую очередь, с ростом плотности дислокаций.

3. На начальном этапе деформирования (0,0…2,5 %) на величину удельного электросопротивления порошковых спеченных материалов ЖГр-1 доминирующее влияние оказывает рост плотности дислокаций, ухудшающий электрическую проводимость металла, а при деформациях выше 2,5…4,0 % – уплотнение материала, повышающее поперечное сечение металла в материале.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ и Правительства Свердловской области (грант № 07-01-96086).

Литература

1. **Горкунов Э.С., Ульянов А.И.** Магнитные методы и приборы контроля качества изделий порошковой металлургии. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 204 с.

С.32. **ВОЗМОЖНОСТИ ДИАГНОЗА СЛОЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ СЕГНЕТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ ДЕФОРМАЦИИ**

Есипов Ю.В., Мухортов В.М., ЮНЦ РАН, Ростов-на-Дону, Россия

В докладе представлен материал по: 1) созданию и апробации новой технологии диагноза напряженного состояния целостных конструкций; 2) построению информационно-измерительной системы для наблюдения за деформационным поведением конструкции на основе от трех до двенадцати тонкопленочных сегнетоэлектрических датчиков динамической деформации (СЭДД); 3) анализу результатов Фурье-обработки деформационного поведения модели периодической (семиярусной) стержневой конструкции при ее штатном функционировании и тестовых возбуждениях; 4) эксперименталь-

ному обоснованию спектральных критериев различения напряженных состояний конструкций.

За последние 20 лет в западных странах в качестве одного из направлений НК и ТД получила развитие технология Structural Health Monitoring (SHM) (дословно – мониторинг здоровья (ресурса) конструкций) (Farrar C. R., Sohn H., Dyke S.J., Ventura C., Virgin L.N., Nichols J. M., Todd M.D. и др.). В последнем обзоре по SHM-технологии «Идентификация нелинейной системы для обнаружения повреждений» [1] как наиболее актуальному вопросу ранней диагностики конструкций уделяется внимание возможности изучения такого типа нелинейных повреждений, при котором изменение собственной частоты конструкции за счет усталости материала (например, в сопряжениях) не чувствительно к зарождающимся дефектам, особенно в низкочастотной области напряжений. При этом отмечается, что решение как указанной, так и ряда других задач тензометрии и виброметрии сдерживается из-за отсутствия миниатюрных и высокочувствительных датчиков деформации. Научной целью работы является изучение и экспериментальное обоснование в форме Фурье-образов высокодобротных и стохастических критериев для раннего диагноза внешне неповрежденных стареющих конструкций. Для идентификации стохастичности проводился сравнительный анализ поведения линейной (высокодобротной) и нелинейной (стохастической) областей Фурье-образа деформационного процесса при линейном увеличении импульса силы удара или натяжения конструкции.

Основные результаты. Разработаны: 1) технология создания и конструктивного решения тонкопленочных образцов СЭДД [2,3], рис. 1 (здесь и далее рисунки приведены в стендовом докладе [6]); 2) модель периодической (семиярусной) стержневой конструкции [4], вблизи узлов сопряжения которой наклеивались от 3 до 12 СЭДД, рис. 2; испытательная установка (ИУ) и информационно-измерительная система (ИИС) [3-5] (рис. 3) для регистрации деформации во времени и построения Фурье-образов деформационного поведения модельной конструкции как при ее штатном функционировании, так и при тестовых (ударном и бесконтактном) ее возбуждениях. На основании указанных разработок был проведен Фурье-анализ деформации конструкции в режимах ее подвески на кевларовых нитях как в горизонтальном (рис. 2), так и вертикальном расположении, а также при укладке на ложементы. Причем при вертикальной подвеске также имитировалось упругопластическое «повреждение» – (центральное сжатие на 7,5 мм друг к другу вертикальных стержней второго снизу пролета) конструкции. Пример временной зависимости деформации конструкции при ударном возбуждении, полученной от датчика Д-1, представлен на рисунке 4.

Обсуждение результатов. 1. При реализации способа ударного возбуждения в Фурье-образе деформации конструкции (см. рис. 2), были выявлены следующие области: а) область потери устойчивости конструкции, характеризуемая нелинейными (стохастическими) колебаниями в диапазоне частот 22…26 Гц, датчик Д-6 (рис. 5), а также в диапазоне 17…18 и 73…75 Гц, датчик Д12; б) области высокодобротных откликов в диапазоне частот 15.5…18.5; 36…39; 61…63.5 и 83.5…85.5 Гц, причем последняя область спектра, например, зарегистрированная с помощью датчика Д-6, приведена на рис. 6; в) область с диссипацией энергии колебаний.

2. В областях высокой добротности установлена линейная зависимость модуля спектральной плотности колебаний конструкции от импульса силы удара. При этом в режиме подвески наблюдается строгая повторяемость и неизменность частот при разных алгоритмах обработки в каждом узле.

3. С помощью трех СЭДД оказывается достижимой регистрация собственных резонансных частот модельной конструкции.

4. В стохастической области деформационных колебаний имеет место более высокая чувствительность конструкции к потере формы. Это следует из сравнительного анализа Фурье-образов стохастических колебаний неповрежденной и дефектной конструкции (рис. 7) (диапазоны 64…66 и 72…73 Гц).

5. В области упругой деформации более информативными оказываются малые возмущения предварительно напряженного состояния конструкции. При ударах с импульсами 26, 96, 180 мН·с происходит уменьшение амплитуд стохастических составляющих (рис. 7, 8) и рост амплитуд собственно высокодобротных составляющих Фурье-образа деформационных откликов конструкции.

6. Полученные результаты и выводы (1–3) были проверены и экспериментально подтверждены способом ударного возбуждения конструкции при вертикальной подвеске, а также способом бесконтактного возбуждения (рис. 9) (Итоговый отчет по гранту РФФИ 06-08-01259а, 2008).

Выводы. На основе тонкопленочных сегнетоэлектрических датчиков динамической деформации разработан и апробирован лабораторный макет информационно-измерительной системы, применение которого позволит реализовать новую технологию диагноза напряженного неповрежденного и поврежденного состояний конструкций. При этом показано, что на основании такой системы выполним диагноз конструкций, как по собственным частотам (диагностика повреждений в области упругой пластичности и трещинообразования), так и по области стохастических деформационных колебаний (ранняя диагностика стареющих конструкций).

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 06-08-01259а.

Литература

1. **Nonlinear** System Identification for Damage Detection / Charles R. Farrar a.o. / Los Alamos National Lab. Contract DE-AC52-06NA25396. Nov. 2007.

2. **Бирюков С.В., Мухортов В.М., Мухортов Вас.М.** Новый датчик динамической деформации на основе тонких пьезоэлектрических пленок, полученных ионно-плазменным напылением // Мир измерений. 2007. № 7. С. 45–61.

3. **Есипов Ю.В., Мухортов В.М.** Интегральные датчики динамической деформации на основе тонких сегнетоэлектрических пленок для мониторинга сложных механических систем // ЖТФ. 2009. Т. 51. № 1. С. 78–81.

4. **Есипов Ю.В., Мухортов В.М., Калинчук В.В.** Испытательная установка для анализа деформации моделей трехмерных конструкций // ИТ. 2008. № 10. С. 15–24.

5. **Есипов Ю.В., Мухортов В.М., Калинчук В.В.** Мониторинг напряженного состояния стержневых конструкций с использованием сегнетоэлектрических наноразмерных датчиков // Тр. Всерос. конф. «Проблемы нелинейной механики деформируемого твердого тела», Пермь, 12-16 октября 2008 г. Пермь: Институт механики сплошных сред УрО РАН, 2008. Вып. 11. С. 43.

6. **Есипов Ю.В., Мухортов В.М., Бирюков С.В. и др.** Экспериментальное исследование деформационного поведения модели периодической стержневой конструкции // Стенд. докл. на 8 Международной конференции «НК и ТД в промышленности». М., 2009.

С.33. ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕРКИ НЕИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ МАГНИТОПОРОШКОВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ НА СООТВЕТСТВИЕ ТРЕБОВАНИЯМ ТЕХНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ

Лисицын В.И., Шелихов Г.С., ЗАО «МНПО «Спектр», Москва, Россия;
Глазков Ю.А., ДНТЦ «Дефектоскопия», Москва, Россия

Магнитопорошковые дефектоскопы представляют собой сложные технические устройства. Они содержат механические и электрические блоки различного назначения. В процессе их эксплуатации могут наблюдаться износ и повреждения отдельных элементов конструкции дефектоскопов, их параметры могут выходить за пределы заданных значений, что иногда может приводить к полной потере работоспособности дефектоскопов. Поэтому дефектоскопы тщательно проверяют на соответствие техническим услови-

ям и ГОСТ 21105 как при выпуске с завода-изготовителя, так и периодически в процессе эксплуатации.

Как правило, перед каждым применением работоспособность дефектоскопов проверяют путем выявления трещин на контрольном образце. Эта проверка чрезвычайно важна. Она позволяет убедиться в том, что основные блоки и системы дефектоскопа функционируют. Однако эта проверка осуществляется только при одном режиме намагничивания. Рабочие параметры ряда систем дефектоскопа при этом остаются неизвестными. Для обеспечения эффективного магнитопорошкового контроля целесообразно примерно через каждые 3 года проверять параметры неизмерительных систем дефектоскопов и проводить калибровку систем измерения намагничивающего тока.

При проверке параметров неизмерительных систем магнитопорошковых дефектоскопов помимо контрольных образцов применяют различные средства измерений. При проверке вида намагничивающего тока, определении продолжительности его выключения, при оценке длительности импульсов тока и режима «ток-пауза» (при его наличии) используют запоминающий электронный осциллограф. Вместе с ним применяют шунт 75 ШИСВ-1000 или другой в зависимости от максимального значения намагничивающего тока. Осциллограф фиксирует падение напряжения на шунте при прохождении по нему тока. Указанные выше параметры оценивают по виду и размерам осциллограмм. Магнитометром измеряют напряженность магнитного поля в намагничивающих устройствах – соленоидах и электромагнитах. С помощью секундомера определяют длительность автоматического размагничивания. При оценке качества ручных электромагнитов динамометром измеряют силу отрыва от стальной плиты. Значение потребляемого тока, а при намагничивании деталей переменным током также максимальное значение намагничивающего тока может быть измерено с помощью электроизмерительных клещей.

В настоящее время в инструкциях по эксплуатации магнитопорошковых дефектоскопов, как правило, отсутствуют рекомендации по периодической проверке параметров неизмерительных систем. Целесообразно в эксплуатационной документации на вновь разрабатываемые дефектоскопы предусмотреть самостоятельный раздел с описанием методики проверки неизмерительных систем.

С.34. **ШИРОКОПОЛОСНЫЙ НИЗКОЧАСТОТНЫЙ МАЛОАПЕРТУРНЫЙ МОЗАИЧНЫЙ ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ**

Качанов В.К., Соколов И.В., Родин А.Б., Тимофеев Д.В.,
Московский энергетический институт, Москва, Россия

В докладе приведены результаты работ по созданию малоапертурных широкополосных НЧ мозаичных ПЭП. В [1] показано, что АЧХ пьезопреобразователя для УЗ-помехоустойчивого контроля должна иметь П-образный вид; полоса пропускания $\Delta f_{ПП}$ должна соответствовать полосе используемого широкополосного сигнала $\Delta f_{ПП} = \Delta f_c$. Задачу синтеза широкополосного ПЭП с равномерной П-образной АЧХ позволяет осуществить разработанный в МЭИ в 1970-х гг. составной мозаичный ПЭП [2-3] (с 1980 г. такие же составные преобразователи появились в зарубежных работах под названием «композитный» [4]). Базовая схема составного (мозаичного, композитного) ПЭП (рис. 1) представляет собой набор (матрицу) элементарных ПЭ. Основная идея композитного ПЭП заключается только в расширении полосы пропускания за счет подбора оптимального материала наполнителя, заполняющего пространство между элементарными ПЭ. В случае подбора оптимальной композиции «пьезокерамика-наполнитель» удается увеличить полосу пропускания композитного ПЭПа на 40…50 %. Мозаичный ПЭП с определенным набором разновысоких ПЭ высотой $h_{11}, h_{12}, h_{13}, h_{14}, h_{15}$ (рис. 2, *а*) позволяет более существенно расширить полосу пропускания НЧ ПЭП и создать широкополосный ПЭП с заданной формой АЧХ (рис. 2, *б*). На рис. 3 показана АЧХ прямоугольной формы

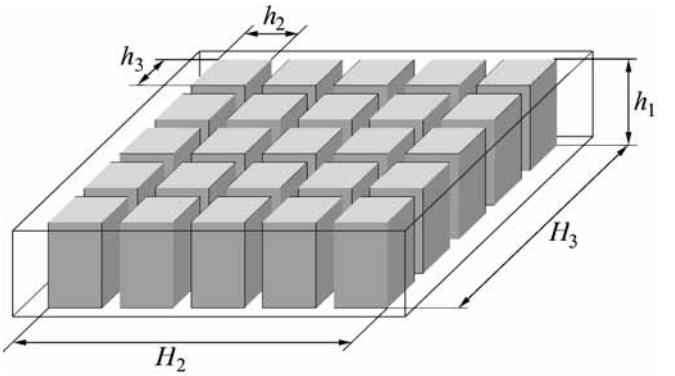


Рис. 1. Общий вид составного (мозаичного, композитного) преобразователя

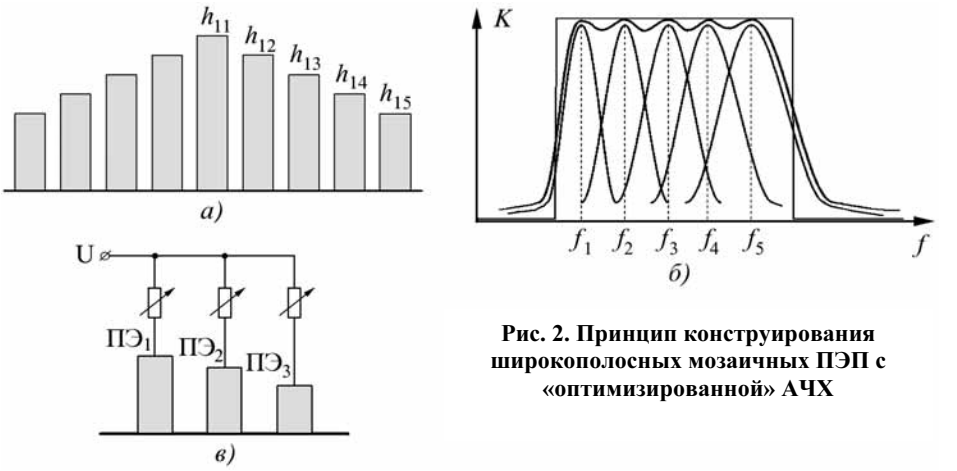


Рис. 2. Принцип конструирования широкополосных мозаичных ПЭП с «оптимизированной» АЧХ

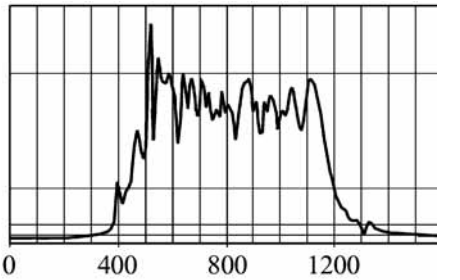


Рис. 3. АЧХ мозаичного широкополосного ПЭП ($\Delta f \approx$ 800 Гц)

со 100%-ной полосой пропускания ($\Delta f_{ПП} \approx \approx f_0$), что необходимо для большинства задач УЗ НЧ контроля изделий с большим затуханием ультразвука. Изрезанность АЧХ широкополосного мозаичного ПЭП определяется самой идеей формирования суммарной АЧХ из набора высокодобротных парциальных характеристик отдельных ПЭ. Выравнивание АЧХ легко обеспечивается, например, с помощью корректирующих резисторов (рис. 2, *в*) или с помощью набора несколько более сложных корректирующих фильтров. Одновременно с помощью выбора соответствующей топологии мозаичного датчика возможно решить проблему синтеза широкополосного ПЭП с заданным распределением акустического поля (заданной корреляционной диаграммой направленности).

В случае синтеза малоапертурных НЧ широкополосных ПЭП, являющихся элементами фазированной антенной решетки УЗ НЧ томографа, размер каждого ПЭП не должен превышать длины волны $\lambda/2$. Решить эту проблему позволяет разработанная в МЭИ технология изготовления УЗ-широкополосных НЧ мозаичных ПЭП с малой апертурой,

выполненных из единого исходного керамического пьезоэлемента, представляющих собой механически связанные по основанию разновысокие пьезоэлементы и названных «широкополосный мозаичный ПЭП с частично-связанными акустическими контурами» [5].

Литература

1. **Качанов В.К., Соколов И.В.** Проблемы ультразвукового контроля протяженных сложноструктурных изделий с большим затуханием сигналов // Дефектоскопия. 2007. № 8. С. 82–93.

2. **Аксенов В.П., Попов И.С., Попко В.П. и др.** Применение пьезокерамических мозаичных электроакустических преобразователей // Тр. МЭИ. Вып.335. 1977. С. 49–52.

3. **Родин А.Б.** Исследование электронных и пьезокерамических каскадов генераторов и приемников акустических сигналов // Тр. МЭИ. Вып. 607. 1983. С. 89–92.

4. **Newnman R.E.** Composite piezoelectric transducers // Mater. Eng. 1980. Vol. 2. P. 93–106.

5. **Качанов В.К., Соколов И.В., Родин А.Б.** Малоапертурные широкополосные мозаичные пьезоэлектрические преобразователи // Тез. докл. 7-й Междунар. конф. «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности». Москва,11-13 марта 2008 г. М.: Машиностроение-1, 2008. С. 186–188.

С.35. КОГЕРЕНТНО-ОПТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ

Потапов А.И., Махов В.Е., Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия

Появление когерентных источников света (лазеров) привело к возможности оптически регистрировать и восстанавливать изображения трехмерных объектов, а также производить интерферометрическое сравнение их состояния в различные моменты времени. В силу высокой пространственно-временной когерентности лазерного излучения любое апертурное ограничение пучка в плоскости регистратора дает случайную картину хаотической интерференции (спеклов). Это явление привело к созданию смежных методов: спекл-фотографии и спекл-интерферометрии (интерференция спеклов с опорным пучком или другой спекл-структурой). Характерный размер спеклов зависит от длины волны λ, диаметра ограничивающей апертуры D, расстояния апертуры до плоскости регистратора l_i:

$$b_s = 1{,}22\lambda \frac{l_i}{D}.$$

В отличии от спекл- фотографии, спекл- интерферометрия, имеющая удвоенный размер спеклов, относится к группе методов интерферометрии, которая позволяет регистрировать динамические процессы (вибрацию) в реальном времени. Спекл-фотография и интерферометрия снижают требования к механической стабильности объекта контроля и системе регистрации, разрешающей способности квадратичного регистратора (КР), что делает возможным использование твердотельных матричных сенсоров.

Использование цифровой фоторегистрации в когерентном свете позволяет подойти к решению актуальной задачи неразрушающего контроля – полной автоматизации контроля, в том числе в реальном времени. В случае цифровой регистрации отпадает необходимость последующей расшифровки интерферограмм оптическим способом, так как локальное смещение спекл картины можно определять алгоритмически.

Характеристики цифровых камер

№	Модель	Размер сенсора, мм	Количество пикселей, млн	Размер изображения	Размер пиксела, мкм
1	SIGMA SD14	FOVEON X3 20,7×13,8	14,06	2652 × 1768 × 3 слоя	7,8 × 7,8
2	Canon EOS 50D	CMOS 22,3×14,9	15,1	4752 × 3168	4,7 × 4,7
3	Nikon D300	CMOS 23,6×15,8	13,1	4288 × 2848	5,5 × 5,55
4	Canon EOS 40D	CMOS 22,2×14,8	10,1	3888 × 2592	5,7 × 5,7

Появление нового поколения цифровых камер высокого разрешения (см. таблицу) позволяет рассматривать вопрос об их практическом использовании в системах контроля на основе когерентных оптических методов. Учитывая структуру сенсора с RGB-фильтром, фактический размер пиксела CMOS сенсора увеличивается вдвое.

Экспериментальные исследования проводились с использованием одних и тех же объективов: Sigma AF 15mm F2.8 – 22 EX DIAGONAL Fisheye (минимальный размер диафрагмы – 0,68 мм), Sigma AF 20mm F1.8 – 22 EX DG ASPHERICAL RF (0,91 мм) Sigma AF 30mm F1.4 – 16 EX DC HSM (1,875 мм), Canon EF 50mm f/1.4 – 22 USM (2,27 мм). Перенос объектива с Nikon на Canon производилась с помощью переходного кольца. Для удлинения тубуса использовались кольца KENKO, мм: 12, 20, 36, 12+20, 12+36, 20+36, 12+20+36.

Просмотр изображения на экране компьютера, дистанционное управление параметрами съемки, в том числе фокусировка и фоторегистрация возможны благодаря программному обеспечению. Использование дополнительного блока позволяет реализовать беспроводное управление фотокамерой. Адапторы беспроводной связи совместимы со стандартами беспроводной связи 802.11b/g Wi-Fi и проводными сетями 100BaseTx/10BaseT. Устойчивые результаты получались на предельных значениях, т.е. для Canon EF 50mm f/1.4 с тубусом 112 мм (размер спекла 38 мкм). Для камеры EOS 50D это значение в 8 раз больше размера пиксела. В этих случаях в процессе фокусировки на объект на экране четко фиксировалась спекл-структура, которая реагировала даже на незначительные продольные смещения камеры (диафрагмы).

Исследования также показали, что цифровая регистрация обладает полноценными возможностями для осуществления контроля при использовании явлений интерференции: спекл-фотография с маскированной апертурой (например, диафрагма в виде двух маленьких круглых отверстий 0,25 мм на расстоянии 2 мм).

Проведенные исследования показали возможность цифровой регистрации спекл-картины, возможность ее применения для контроля микродеформации (точность 0,5 %). При использовании серийно выпускаемой цифровой техники появляется возможность полностью автоматизировать процесс контроля деформации.

Литература

1. **Вест Ч.** Голографическая интерферометрия: пер. с англ. М.: Мир, 1982. 504 с.

С.36. **ВОЗМОЖНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДЕФЕКТОСКОПА АКР1224М ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕЛЬСОВ**

Самокрутов А.А., Шевалдыкин В.Г.,
ООО «Акустические Контрольные Системы», Москва, Россия

Техническая диагностика рельсов как отдельных, так и уложенных в путь состоит из трех основных этапов:

– установления факта наличия и места расположения дефекта в рельсе;

– оценки параметров дефектов (координат, размеров, ориентации) и определения их типа;

– оформления заключения о пригодности или непригодности рельса к дальнейшей эксплуатации.

Первые два этапа диагностики, т.е. дефектоскопию рельсов, выполняют с помощью дефектоскопа АКР1224М.

Обнаружение дефектного сечения в рельсе и измерение параметров обнаруженного дефекта – разные задачи дефектоскопии. Учитывая большую протяженность рельсов и огромную длину рельсовых путей, для решения задачи поиска дефектного сечения рельса в дефектоскопе АКР1224М есть специальный режим дистанционного контроля рельсов (ДК). Для оценки параметров уже найденных дефектов в дефектоскопе АКР1224М предусмотрен режим локального контроля (ЛК).

Режим ДК представляет собой такую процедуру. Оператор устанавливает акустический блок (АБ) дефектоскопа на рельс, запускает процесс зондирования и сбора данных, который длится несколько секунд, и по полученному на экране изображению определяет отсутствие или наличие дефекта в рельсе на расстоянии до 30 м от места установки АБ на рельс. Если дефект обнаружен, т.е. импульс превышает порог обнаружения, то оператор, считав с экрана измеренное до дефекта расстояние, с помощью рулетки находит и отмечает дефектное сечение рельса. Далее оператор переводит дефектоскоп в режим ЛК и измеряет параметры дефекта.

Если дефект в режиме ДК не обнаружен, то оператор проходит вдоль пути 20…25 м и повторяет описанные действия, просматривая следующую 30-метровую дистанцию рельса.

Работа дефектоскопа АКР1224М в режиме ДК основана на эхоимпульсном методе при волноводном распространении ультразвука вдоль рельса. При этом используются частоты от 30 до 100 кГц. Любое нарушение формы и площади поперечного сечения рельса (выбоина на поверхности, трещина, непровар, шлаковое включение и т.д.), а также валик усиления сварного шва вызывают отражение распространяющихся по рельсу ультразвуковых импульсов. По времени задержки отраженного импульса определяют расстояние от места установки АБ до дефектного сечения рельса, а по амплитуде импульса приблизительно судят о величине дефекта. Но тип и размеры дефекта данным методом установить невозможно.

Для детального определения параметров дефекта служит режим ЛК. Он основан на обычном эхоимпульсном методе. Контроль проводят прямыми и наклонными УЗ-преобразователями с разными углами ввода и с рабочей частотой 2,5 МГц.

Таким образом, дефектоскоп АКР1224М – прибор комбинированный. Он совмещает в себе два разных по принципу действия и методике применения прибора:

а) прибор, работающий на основе волноводного эхометода на низких частотах ультразвука и позволяющий проводить дистанционный поиск дефектов в рельсах;

б) прибор, реализующий традиционный эхометод на частоте 2,5 МГц и обеспечивающий локальный контроль участка рельса небольшой протяженности.

С.37. ПРИМЕНЕНИЕ МАГНИТНЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРИЛОЖЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

Горкунов Э.С., Митропольская С.Ю., ИМаш УрО РАН, Екатеринбург, Россия

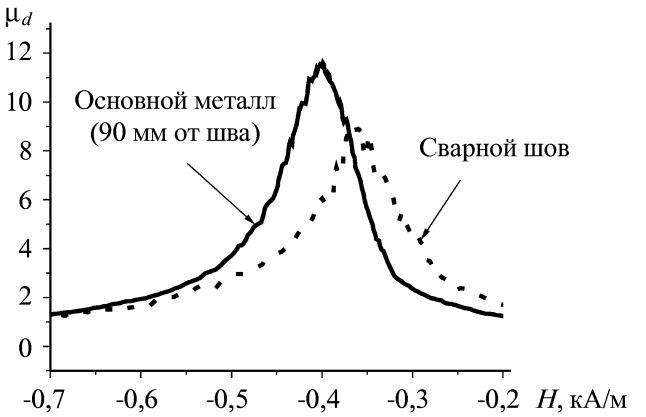
Задача оперативной оценки напряженно-деформированного состояния стальных конструкций является весьма актуальной и привлекает к себе внимание специалистов в различных методах неразрушающего контроля.

В докладе обсуждается применение магнитного метода неразрушающего контроля для оценки напряженного состояния в сварных соединениях из конструкционных сталей повышенной прочности в условиях одноосного растяжения. Предлагаемый подход основан на том, что в магнитном отношении сварное соединение можно представить как двухслойный композит, один из слоев которого магнитотвердый, а другой – магнитомягкий. Для контроля элементов конструкций, имеющих в своем составе слои с различными физическими свойствами, высоко информативной считается полевая зависимость дифференциальной магнитной проницаемости μ_d от величины перемагничивающего поля H (см рисунок). Современные магнитоизмерительные системы и накладные датчики позволяют измерять магнитные параметры локально, непосредственно в области сварного шва или в зоне термического влияния.

Экспериментальное исследование эволюции магнитных характеристик основного металла и шва сварного соединения из стали 15ХСНД в условиях силового нагружения показало применимость магнитного метода: 1) для оценки упругих растягивающих напряжений в интервале $0 < \sigma < 0{,}5\sigma_T$; 2) для диагностики перегрузки конструкции с переходом в пластическую область нагружения. Установлено, что сближение пиков дифференциальной магнитной проницаемости основного металла и шва указывает на близость сварного соединения к исчерпанию ресурса и потому может считаться магнитным «предвестником» разрушения.

Авторы выражают благодарность проф. Ю.Н. Сараеву (Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск) за предоставленные образцы сварных соединений из стали 15ХСНД.

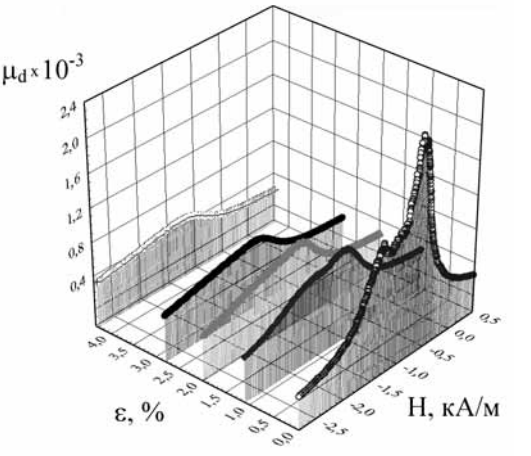
Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 08-08-90030_Бел_а).



С.38. **ОЦЕНКА НАПРЯЖЕНИЙ И ДЕФОРМАЦИЙ В ПОВЕРХНОСТНО-УПРОЧНЕННЫХ СТАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЯХ ПО ИХ МАГНИТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ**

Горкунов Э.С., Митропольская С.Ю., ИМаш УрО РАН,
Екатеринбург, Россия

Деформационное поведение поверхностно-упрочненных стальных изделий имеет свою специфику по сравнению с однородными. При этом возникает проблема определения параметров, характеризующих состояние каждого из слоев, учет которых позволил бы контролировать уровень опасных напряжений. Эта задача может быть решена на основе анализа эволюции картины пиков на зависимости дифференциальной магнитной проницаемости μ_d от величины перемагничивающего поля H. Количество таких пиков соответствует числу различных по магнитным свойствам слоев, поля пиков $H\mu_{d\max}$ близки к значениям коэрцитивной силы соответствующих слоев, а соотношение высот пиков определяется соотношением сечений соответствующих слоев. В работе изучено влияние деформации растяжения на полевую зависимость дифференциальной магнитной проницаемости составных двухслойных образцов стали 45, моделирующих поверхностное упрочнение, и образцов этой же стали, подвергнутых термоупрочнению лазером.



Показано, что полевая зависимость дифференциальной магнитной проницаемости отражает многослойный характер полученной микроструктуры (пик с максимумом при $H_{\mu_{d1\max}}$ = 0,5 кА/м соответствует феррито-перлитной сердцевине образца, а пик с максимумом при $H_{\mu_{d2\max}}$ = 1,3 кА/м соответствует упрочненному поверхностному слою со структурой сорбита) и позволяет оценивать изменения, происходящие в каждом из слоев при растяжении.

Установлено, что значительные смещения пиков магнитной проницаемости в область более сильных магнитных полей и резкие снижения высоты пиков (см. рисунок) обусловлены вовлечением различных слоев изделия в пластическую деформацию и происходят в строго определенной последовательности, по мере достижения напряжений, соответствующих пределу текучести каждого из слоев: для первого пика при напряжениях 390…400 МПа, что примерно равняется пределу текучести феррито-перлитной основы, а для второго пика – при напряжениях 950…1000 МПа, что приблизительно соответствует пределу текучести сорбита. Показано, что потеря бимодального характера полевой зависимости дифференциальной магнитной проницаемости, зарегистрированной после снятия нагрузки, указывает на близость материала с упрочненным поверхностным слоем к исчерпанию ресурса.

Работа выполнена при частичной поддержке РФФИ (грант 08-08-90030_Бел_а).

С.39. **АНАЛИТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**

Карабегов М.А., ОАО «НПО «ЦНИИТМАШ», Москва, Россия

Контроль состава и свойств технологических и природных сред (жидких, газообразных, твердых) представляет собой распространенную область аналитических измерений, выполняемых на основе специальных методик и аналитических приборов (АП).

Важным направлением является развитие автоматического аналитического приборостроения. Автоматические АП формируют информацию о составе и свойствах контролируемых сред в динамическом режиме, применяются в качестве источников прямой информации о параметрах этих сред в виде датчиков автоматических систем управления технологическими процессами, автономных комплексов, автоматических систем контроля.

Широкая номенклатура контролируемых сред, применение АП в новых отраслях и технологиях, сложность контролируемых сред по химическому составу, агрегатному состоянию и другим факторам, тяжелые и часто экстремальные условия эксплуатации предъявляют новые требования к аналитическому приборостроению, поиску и реализации новых теоретических, методических и инструментальных решений, обеспечивающих достоверность и инвариантность результатов измерений в тяжелых условиях эксплуатации.

АП можно разделить на две группы. 1-я группа – АП, выполняющие измерения без «разрушения» контролируемой среды. Это проточные, погружные pH-метры, кондуктометры, фотометры, рефрактометры и др., они в полной мере относятся к приборам неразрушающего контроля. 2-я группа – АП, выполняющие измерения с разрушением контролируемой среды, наиболее распространено химическое и термическое воздействие. Химическое воздействие обычно представляет собой подготовку проб перед непосредственным анализом. Это реакции: цветные – в спектрофотометрии, разделения – в хроматографии, хемилюминесценции, экстракции, модифицирования и др. Термическое воздействие применяется для атомизации веществ в дуге, искре, пламени, электрически нагреваемой графитовой трубке, индуктивно-связанной плазме и др., в атомно-спектральном анализе и др. В приборах 2-й группы проба разрушается, однако объем проб, требующихся для анализа, весьма мал, намного меньше объема контролируемых технологических или природных сред, при анализе жидкостей это обычно несколько микро- или миллилитров, и потому большинство приборов 2-й группы с известным приближением также можно отнести к приборам неразрушающего контроля.

По объемам продаж АП, основанные на *оптических методах (ОАП),* занимают лидирующие позиции в структуре мирового рынка. Это спектрофотометры для УВИ- и ИК-областей спектра; атомно-абсорбционные спектрометры; рефрактометры; эмиссионные спектрометры с возбуждением в индуктивно-связанной плазме и пламенные фотометры; флуорометры; фотометрическо-счетные анализаторы и др. Широкому распространению ОАП способствуют высокие чувствительность и селективность, относительная простота аппаратуры, доступные цены и в основном хорошо отработанная и освоенная методология применения в разных отраслях. По воздействию на контролируемую среду ОАП соответствуют рассмотренным двум группам, они могут быть отнесены к приборам неразрушающего контроля.

Аналитические измерительные задачи разнообразны, они дифференцируются в зависимости от параметров контролируемой среды и мешающих факторов, зависящих от флуктуаций параметров приборов, контролируемой среды и внешних условий. Повышение точности АП и обеспечение инвариантности результатов измерений к влиянию ме-

шающих факторов реализуются на основе методов параметрической, структурной и циклической коррекции.

При *параметрической коррекции* схемы и конструкции АП оптимизируются, влияние мешающих факторов, статические и динамические характеристики звеньев стабилизируются

При *структурной коррекции* на основе принципа «двухканальных» измерений в схемах АП формируется канал (каналы) коррекции, сигнал которого и информативный сигнал преобразуются по специальным алгоритмам. При *циклической коррекции* на вход прибора подается известное (калибровочное) значение измеряемого параметра от встроенного (внешнего) «калибратора», параметры АП корректируются, фиксируются калибровочные значения.

Метод структурной коррекции показан на примере атомно-абсорбционного (АА) спектрометра, в котором реализован эффект Зеемана – явление расщепления спектральной линии в магнитном поле. Задача коррекции – исключение влияния состава пробы, проявляющееся в виде неатомного поглощения и являющееся одной из основных составляющих погрешности АА определений. Коррекция особенно важна при определении микроконцентраций элементов, например, менее 10^{-6} %, что обычно реализуется при интенсивном электротермическом методе атомизации. Электромагнит переменного тока устанавливается в зоне атомизатора – графитовой трубки. В магнитном поле электромагнита спектральные линии поглощения расщепляются на компоненты, равно отстоящие от нерасщепленной линии поглощения. Расщепление увеличивается с ростом магнитной индукции, что приводит к зависимости коэффициента поглощения атомов от магнитной индукции. Коэффициент поглощения зависит от состава пробы, от магнитной индукции не зависит. Выходной сигнал АА спектрометра формируется по алгоритму разности этих двух сигналов. В результате в однолучевой схеме АА спектрометра реализуется формат двухлучевых двухканальных измерений, корректируется влияние неатомного поглощения и низкочастотных флуктуаций звеньев прибора. Выходной сигнал АА спектрометра инвариантен к влиянию неатомного поглощения, пропорционален коэффициенту поглощения атомов определяемого элемента и зависит только от их концентрации.

С.40. **РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ МАЛОГО ТОКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЧАСТОТЫ**

Брановицкий И.И., Размыслович Г.И., Мацкевич П.Д.,
Институт прикладной физики НАН Беларуси, Минск, Беларусь

В докладе представлены результаты исследований по созданию прибора для бесконтактного измерения малых токов, лежащих в области значений токов утечки высоковольтного оборудования (от десятков микроампер) через измерение их магнитных полей, рассматриваются пути оптимизации режима работы магниточувствительного датчика, методы повышения помехоустойчивости прибора. В качестве магниточувствительного датчика использовался тонкопленочный анизотропный магниторезисторный датчик с разрешающей способностью около 15 нТл. Он помещался в зазор кольцевого разъемного магнитопровода, охватывающего проводник с измеряемым током. Для обеспечения максимальной чувствительности датчика и уменьшения погрешности была реализована методика компенсации измеряемого магнитного поля специальной катушкой, что позволило судить о величине этого поля по току компенсации. При измерении токов утечки в эксплуатационных условиях высоковольтного оборудования необходима эффективная защита от внешней электромагнитной помехи, создаваемой этим оборудо-

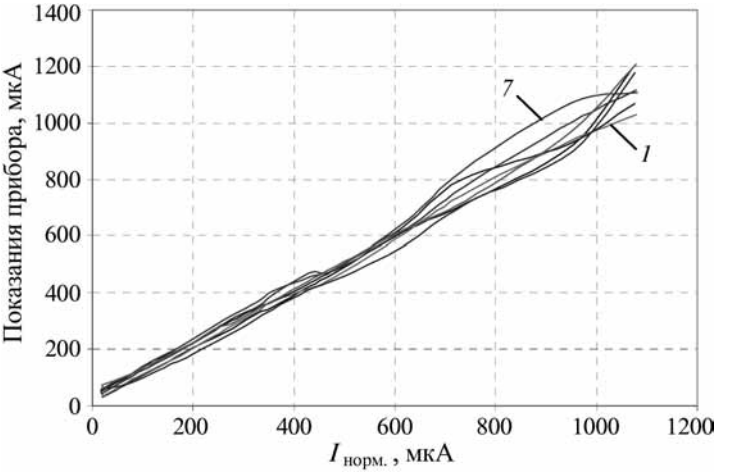


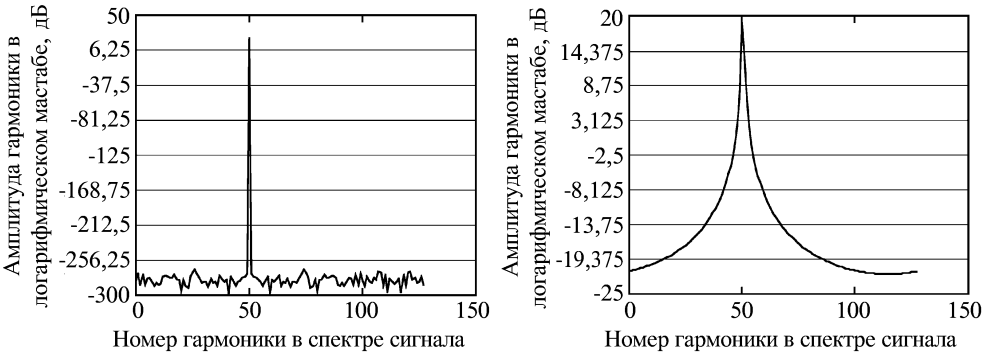
Рис. 1. Зависимость показаний прибора от величины измеряемого нормированного переменного тока при различной величине внешней помехи $H_п$:
1 – $H_п$ = 4 А/м, …, *7* – $H_п$ = 65 А/м

ванием. В рассматриваемом приборе предусмотрены два уровня защиты. Первый уровень связан с разработкой системы магнитного экранирования магниточувствительного датчика, обеспечивающего значительное ослабление помехи. При этом была развита методика расчета магнитных экранов, позволяющая оптимизировать их конструкцию с учетом технических условий их использования. Дополнительную трудность при расчете и конструировании экрана вносило то, что функционально он должен быть, как и преобразователь в целом, разъемным. В результате преобразователь прибора конструктивно был выполнен по принципу «клещей», содержащим разъемный кольцевой магнитопровод с магниторезисторным датчиком в его зазоре, которые помещены в магнитный экран, изготовленный из пермаллоя 79НМ. Исследования, однако, показали, что при использовании столь высокочувствительного датчика в условиях сильных внешних помех необходим второй уровень защиты.

На рис. 1 представлены результаты испытания прибора при многократно ослабленной экранированием внешней помехе. Из рисунка видно, что разработанный прибор позволяет осуществлять бесконтактным способом измерение переменного тока от десятков микроампер. Это находится в диапазоне значений токов утечки высоковольтного оборудования, когда сопротивление его изоляции соответствует нормативным требованиям (ранняя диагностика).В то же время видна неоднозначность показаний прибора, вызванная влиянием изменяющейся величины помехи. Второй уровень защиты связан с отстройкой полезного сигнала от узкополосной электромагнитной помехи, частотой 50 Гц, которая наводится, например, от силовой сети. Рассмотрим функцию (1), которая моделирует смесь помехи и полезного сигнала [1]:

$$A(k) = \exp\left(i\frac{2\pi k}{L}f_1\right) + 0{,}0001\exp\left(i\frac{2\pi k}{L}f_2\right), \qquad (1)$$

где f_1 – частота помехи; f_2 – частота полезного сигнала; $\frac{k}{L} = t$ – время, выбираемое через равные временные интервалы; $\Delta t = \frac{T}{L}$; T – период функции; L – количество выборок за период, i – мнимая единица. При этом следует учитывать, что частота как помехи, так и полезного сигнала может быть и нецелым числом.



а) *б)*

Рис. 2. Логарифм спектра монохроматической функции:
а – целой; *б* – дробной частоты

На рис. 2 показаны спектральные представления монохроматического сигнала (одного из слагаемых выражения (1)), соответственно, с частотой $f = 50$ Гц – целое и $f = 50{,}375$ Гц – нецелое число. Спектр функции, содержащей целую частоту, занимает одну точку $f = 50$ Гц (рис. 2, *а*). В данном случае помеха легко удаляется путем исключения одной точки ($f = 50$ Гц) из спектра. Если же частота характеризуется дробным числом, то спектр помехи в этом случае размыт (рис. 2, *б*), и для ее удаления необходимо применение специальных методик. В работе излагается методика исключения помехи, частота которой характеризуется как целым, так и дробным числом. Методика реализуется на основе спектральных преобразований выражения (1) с помощью специальных функций пакета MATHCAD. Показано, что в случае, когда частота полезного сигнала близка к частоте помехи (что характерно, например, при измерении токов утечки в электроэнергетическом высоковольтном оборудовании), выделение полезного сигнала осуществляется линейными фильтрами с предварительным подавлением монохроматической помехи адаптивной фильтрацией. Разработан алгоритм цифровой фильтрации спектра сигнала, содержащего полезный сигнал и сильную помеху, реализованный на электронном и программном уровнях. Полученные результаты были использованы при разработке адаптивной системы прибора для бесконтактного измерения малых токов, обеспечивающей подавление сильной помехи, например, промышленной частоты при измерении токов утечки в высоковольтном оборудовании.

Литература

1. **Gershman A.B., Turchin V.I. and Zverev V.A.** Experimental Results of Localization of Moving Underwater Signal by Adaptive Beam forming // IEEE Transaction of Signal Processing. 1995. Vol. 43. No. 10. P. 2249–2257.

С.41. НИЗКОЧАСТОТНАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Бакунов А.С., Воропаев С.И., ЗАО «НИИИН «МНПО «Спектр», Москва, Россия

В докладе представлен материал о разработках по выявлению мест нарушений соединений в многослойных конструкциях из композиционных материалов, изделий из слоистых пластиков, сотовых панелей и т.п. Данное направление является неотъемлемой частью программы по повышению надежности и долговечности таких конструкций.

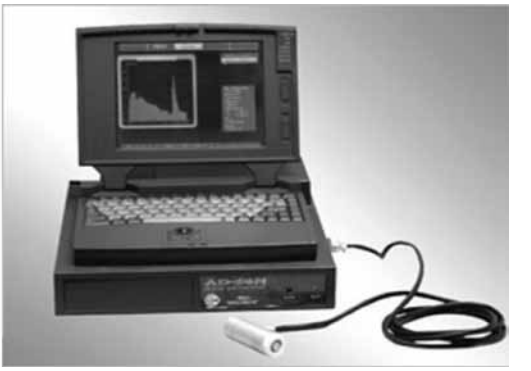


Рис. 1. Дефектоскоп АД-42ИП **Рис. 2. Дефектоскоп АД-64М**

Для этих целей широко применяются низкочастотные (НЧ) акустические методы дефектоскопии. В их основе лежат изгибные колебания звуковых и низких (до 40 кГц) ультразвуковых частот. Контроль при этом ведется при одностороннем доступе без применения контактной жидкости.

Основными из НЧ методов являются импедансный метод (ИМ) и метод свободных колебаний (МСК), которые известны в нашей стране более 50 лет. Представлены разработанные на основе этих методов такие приборы, как АД-42И, АД-42ИП, АД-64М, которые используются в авиакосмической отрасли. Все эти приборы прошли сертификацию и выпускаются в ЗАО «НИИИН «МНПО «Спектр».

Основная область применения этих приборов – выявление дефектов клеевых и паяных соединений между сравнительно тонкой (до 3 мм для алюминиевых сплавов и 1,7 мм для сталей) обшивкой и элементом жесткости (лонжероном, нервюрой и т.п.) или заполнителем (пенопластом, сотами и др.), а также дефектов типа расслоений и непроклеев в неметаллических покрытиях и изделиях из слоистых пластиков, залегающих на глубине до 15-20 мм. На рис. 1 и 2 приведены конструктивные решения двух дефектоскопов – АД-42ИП и АД-64М соответственно.

С.42. **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ, ВОЗБУЖДАЕМЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНО-АКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ. РАЗРАБОТКА ЭМА-ТОЛЩИНОМЕРА**

Ремезов В.Б., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия

В докладе представлен ряд аналитических выражений и графических зависимостей позволяющих получить достаточно полное представление об электрофизических процессах, происходящих в проводящем твердом теле при одновременном воздействии на него постоянного магнитного и переменного электромагнитных полей.

Вопросы прямого, обратного и двойного электромагнитно-акустического (ЭМА) преобразования достаточно подробно исследовании в [1-4]. Полученные математические выражения позволяют рассчитать величины амплитуд смещений для различных типов преобразователей: однопроводного, двухпроводного синфазного и двухпроводного противофазного. В докладе представлены графики, позволяющие оценить интенсивность акустических колебаний в любой точке плоскости, перпендикулярной излучателю. Особое внимание уделено возбуждению сдвиговых колебаний, так как это вид колебаний наиболее часто используется в ЭМА-приборах.

Полученные результаты позволяют дать практические рекомендации по конструированию ЭМА-преобразователей, предназначенных для работы на различных материалах и изделиях и выполняющих различные задачи.

На базе теоретических и экспериментальных исследований разработан и серийно выпускается толщиномер ЭМАТ-100 [5], позволяющий осуществлять контроль толщины различных изделий без предварительной подготовки поверхности. Работоспособен на сильно корродированных изделиях. В приборе использована конструкция ЭМА-преобразователя с пространственно разнесенными возбуждающей и приемной обмотками. В докладе указаны преимущества такой конструкции по сравнению с преобразователями других типов.

В настоящее время прибор используется на ряде предприятий России и ближнего зарубежья. В частности прибор применяется для контроля толщины стенки труб магистральных нефте- и газопроводов, для контроля различных агрегатов на компрессорных и газоперекачивающих станциях, в судостроении и многих других отраслях.

Литература

1. **Мужицкий В.Ф., Ремезов В.Б., Комаров В.А.** К основам ЭМА-толщинометрии с помощью накладных преобразователей. I. Прямое ЭМАП в нормальном поляризующем поле // Дефектоскопия, 2006 г. № 10. С. 40–58.
2. **Мужицкий В.Ф., Ремезов В.Б., Комаров В.А.** К основам ЭМА-толщинометрии с помощью накладных преобразователей. II. Прямое ЭМАП в тангенгциальном поляризующем поле // Дефектоскопия. 2006. № 11. С. 14–28.
3. **Мужицкий В.Ф., Ремезов В.Б., Комаров В.А.** К основам ЭМА-толщинометрии с помощью накладных преобразователей. III. Обратное и двойное ЭМАП в нормальном поляризующем поле // Дефектоскопия. 2007. № 1. С. 64–79.
4. **Мужицкий В.Ф., Ремезов В.Б., Комаров В.А.** К основам ЭМА-толщинометрии с помощью накладных преобразователей. 4. Обратное и двойное ЭМАП в тан-генциальном поляризующем поле // Дефектоскопия. 2007. № 2. С. 35–52.
5. **Безлюдько Г.Я., Долбня Е. В., Лещенко Н.Г. и др.** Портативные электромагнитно-акустические толщиномеры (ЭМАТ) // Дефектоскопия. 2004. № 4. С. 28–35.

С.43. **КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫЙ ТРЕНАЖЕР ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО МАГНИТОПОРОШКОВОМУ МЕТОДУ КОНТРОЛЯ**

Тарасенков Г.А., ЗАО «МНПО «Спектр», Москва, Россия

В процессе практического экзамена важнейшую роль играет разнообразие и достаточность образцов, дефектоскопических материалов и режимов контроля. Независимые органы по аттестации персонала просто не в состоянии иметь в своей лабораторной базе такое количество образцов, которое было бы достаточно для сертификации на все объекты контроля.

При сертификации персонала в системе РОНКТД был внедрен и хорошо себя зарекомендовал «Компьютеризированный тренажер для сертификации персонала неразрушающего контроля». Были опробованы семь первых образцов, которые наиболее часто выходят из строя на объектах авиастроения. Именно в этой области найти образцы для сертификации было проблематично.

«Компьютеризированный тренажер для сертификации персонала неразрушающего контроля» (рис. 1, 2, 3) включает в себя полный перечень функций намагничивающего устройства и в режиме тестовых заданий обучает дефектоскописта правильному выбору магнитных индикаторов.

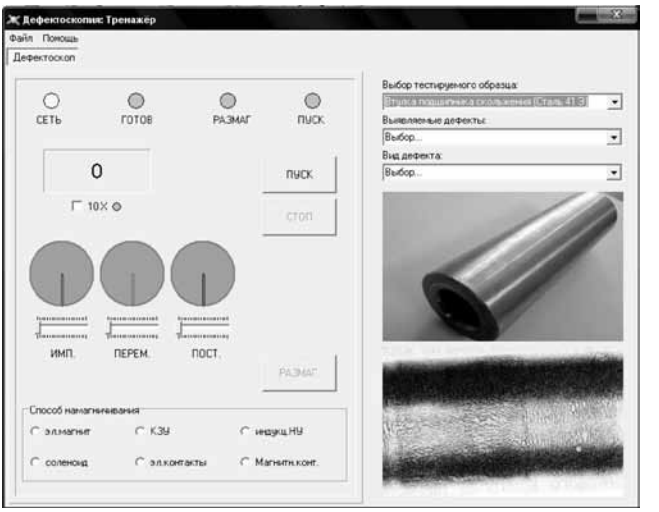


Рис. 1

В процессе работы на данном тренажере дефектоскопист выбирает объект контроля, наиболее подходящий под его повседневные задачи. Необходимо отметить, что при эксплуатации данного тренажера предусмотрена функция добавления любого другого объекта контроля пользователем самостоятельно, т.е. можно развивать его под собственные задачи.

В тренажер занесены ограничивающие контроль условия, по которым компьютер и определяет правильность решения, выбранного кандидатом.

В оболочке тренажера реализован алгоритм выбора видов намагничивания в зависимости от физических и геометрических свойств объекта. По данному алгоритму любой объект контроля можно проверить с помощью тренажера по известным свойствам, заключенным в алгоритме тренажера.

Используя данный алгоритм можно выполнять обучение по образцам, используемым на предприятии сертифицируемого специалиста.

В тренажере реализован режим тестовых вопросов. Они используются только в тех случаях, когда обойтись только намагничивающим устройством невозможно. Это вид ферримагнитной суспензии, условия полива суспензии, время стекания ее с объекта контроля.

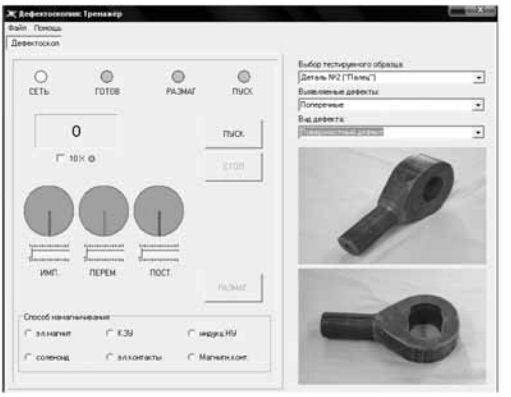


Рис. 2

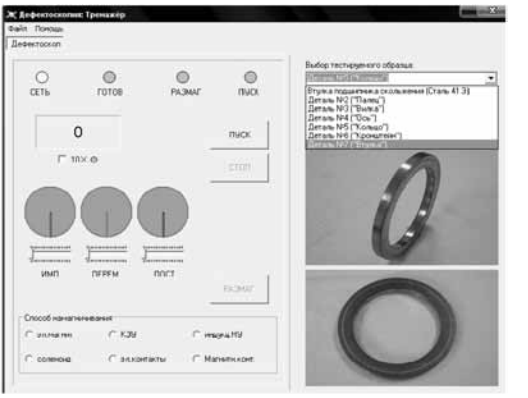


Рис. 3

С.44. **ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСЛОВИЙ, НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ ТИПОВЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ ОБРАТНОМ РАССЕЯНИИ МНОГОСЛОЙНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Буклей А.А., ООО "Флэш электроникс", Москва, Россия

В работе предложена модель расчета и конструирования комплексов работающих на регистрации обратно-рассеянного излучения от многослойных объектов.

Теоретически показано и экспериментально подтверждено влияние таких факторов, как: апертура раскрытия рентгеновского пучка, напряжение, прикладываемое к рентгеновской трубке, площадь сбора рассеянных квантов на соотношение сигнал/шум.

В работе подробно рассмотрены типовые многослойные полости и сформулированы методические рекомендации по применению метода регистрации обратно-расеянного излучения в зависимости от достоверности локализации нарушений в конструкции.

С.45. **ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ТОНКОСТЕННЫХ СОСУДОВ И АППАРАТОВ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ**

Лепихин А.М., Москвичев В.В., Черняев А.П., ИВМ СО РАН,
НПО «СибЭРА», Красноярск, Россия

В докладе рассматривается новый методический подход к вероятностной оценке остаточного ресурса тонкостенных сосудов и аппаратов на основе данных неразрушающего контроля. Тонкостенные сосуды из малоуглеродистых и низколегированных сталей являются одним из наиболее распространенных видов оборудования промышленных объектов различного назначения. В настоящее время в значительной части эксплуатирующиеся сосуды и аппараты выработали нормативные сроки эксплуатации или близки к ним. Длительные воздействия статических, циклических, динамических нагрузок и агрессивных сред приводят к накоплениям повреждений в металле и образованию трещин, существенно снижающих работоспособность конструкций. В этих условиях актуальной становится задача обеспечения дальнейшей безопасной эксплуатации сосудов с учетом данных экспертизы промышленной безопасности, технического диагностирования и неразрушающего контроля.

Анализ результатов технического диагностирования показывает, что большинство сосудов содержат различные дефекты металла, в основном сосредоточенные в сварных соединениях. При этом довольно существенной оказывается доля трещиноподобных дефектов (подрезов, непроваров, несплавлений, расслоений и т.п.). Методами механики разрушения был выполнен анализ трещиностойкости сосудов и аппаратов при наличии указанных дефектов. На основе проведенных оценок опасности дефектов получено, что при упругом деформировании металла критическими являются поверхностные дефекты с относительной глубиной свыше 0,6 от толщины стенки S и внутренние дефекты свыше 0,45S. С учетом коэффициентов запаса по размерам дефектов допустимыми являются поверхностные дефекты глубиной до 0,35S и внутренние глубиной до 0,3S. При упругопластическом деформировании критическими являются поверхностные дефекты глубиной свыше 0,22S и внутренние глубиной свыше 0,34S. Допустимыми являются поверхностные дефекты глубиной до 0,15S и внутренние глубиной до 0,18S.

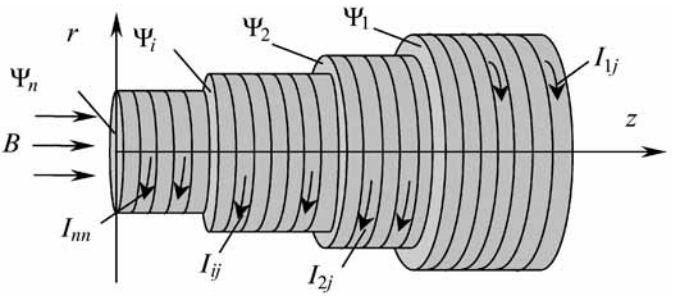
Остаточный ресурс сосудов и аппаратов определяется методом статистического моделирования как число циклов нагружения, при котором выявленные дефекты достигают указанных критических размеров. Оценки остаточного ресурса даются в виде среднего значения и дисперсии, по которым определяется остаточный ресурс с заданной вероятностью обеспечения (вероятностью неразрушения).

С.46. **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВТП ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ И ПОДПОВЕРХНОСТНЫХ СТРУКТУР ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ**

Горкунов Б.М., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, Украина

Для прогнозирования и своевременного выявления аварийных ситуаций, возникающих в металлических деталях, наиболее предрасположенных к повреждениям, необходимо знать фактическое напряженно-деформированное состояние объекта контроля. При этом распределение механической деформации по длине и сечению детали определяется в основном расчетным путем аппаратом функций теоретической механики. Однако при контроле целесообразно определять аномальные участки детали с фактическим напряженно-деформированным состоянием или измененой структурой. Для этих целей предлагается конечно-элементная модель ВТП с объектом контроля в виде многослойной структуры, конечным элементом которой является элементарный короткозамкнутый виток вихревого тока I_{ij}, для намагничивающей и измерительной обмоток – соответствующие отдельные витки с элементарными токами $I_н$ и $I_и$.

На рисунке представлен цилиндрический образец в виде многослойной структуры, который помещен в продольное электромагнитное поле, создаваемое первичной обмоткой ВТП. Через каждое из сечений слоя проходит соответствующий магнитный поток Ψ_i. При этом в предложенной модели каждый слой разбит на отдельные близко расположенные кольца, по которым протекают соответствующие вихревые токи I_{ij}.



Цилиндрический образец в виде многослойной структуры с элементарными кольцевыми вихревыми токами

В данной модели ВТП рассматривается взаимодействие каждого отдельного витка с остальными, каждый из которых рассматривается в виде соответствующих активных сопротивлений R_{ij} , индуктивностей L_{ij} и взаимных индуктивностей M_{ij}. При решении принятой модели осуществляется переход от решения уравнений электромагнитного поля к решению классической системы линейных алгебраических уравнений ТОЭ как для конкретного слоя, так и для всей модели в целом.

Искусственное изменение электромагнитных параметров в различных областях объекта контроля позволяет находить распределение вихревого тока в детали, а также рассчитывать реакцию измерительной обмотки ВТП. Экспериментальная проверка адекватности предложенной модели осуществлялась на специально изготовленных образцах в виде многослойной медной и ферромагнитной катушек с соответствующими выводами витков каждого слоя. Данные экспериментов показали, что при сканировании объекта электромагнитным полем разной частоты для немагнитного материала результаты расчетов и экспериментов расходятся на величину 2…3 %. При этом для ферромагнетика результаты показывают расхождение в 10 %, что связано с некоторым несоответствием реальных и принятых в модели электромагнитных свойств объекта контроля.

С.47. **СТАНДАРТИЗАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ЧУГУННЫХ ОТЛИВОК**

Воронкова Л.В., ОАО НПО «ЦНИИТМАШ», Москва, Россия

Своеобразие чугунных отливок как объекта ультразвукового контроля заключается в довольно широком диапазоне разброса акустических свойств разных марок чугуна. В самой отливке, особенно если она сложной геометрической формы со значительным перепадом по толщине, также имеется разница акустических свойств в различных ее частях.

Чугун с шаровидным графитом считается наиболее дефектоскопичным из всех типов структуры чугуна, и нормативные документы (к сожалению, не отечественные) были разработаны прежде всего для дефектоскопии таких отливок. Они вошли в EN 12680-3:2003 «Отливки. Ультразвуковой контроль. Чугунные отливки с шаровидным графитом». В нем приводятся максимально допустимые размеры несплошностей для объемных отражателей и для шлака, требования контролепригодности, наименьший диаметр обнаруживаемого плоскодонного отверстия в зависимости от толщины стенки отливки. На основе этого стандарта можно разрабатывать методики ультразвуковой дефектоскопии конкретных отливок.

Определение формы графита по скорости ультразвука в чугуне известно и используется довольно давно. В России первые методики в этом направлении были созданы в НИИХИММАШе под руководством Н.В. Химченко. Создание ОСТа сдерживалось тем, что чугун одной и той же марки, изготовленный на разных заводах, имел разную скорость продольной ультразвуковой волны. Поэтому в документе можно было привести только общие требования. Сейчас, когда накоплена довольно большая статистика, есть основание для его появления.

Значение прочности чугунных отливок, определяемые на разрывных образцах, различаются по центру и краю отливки. По скорости продольной ультразвуковой волны и твердости НВ чугуна можно определить прочность в любом месте отливки с погрешностью не более 10 %. Разработаны методики определения прочности чугунных отливок ультразвуковым методом для конкретных заводов. При необходимости возможно создание обобщающего документа.

С.48. **УЛУЧШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ЭМАП ПРИ ПРИЕМЕ ВОЛН РЭЛЕЯ**

Сучков Г.М., Келин А.А., Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», ХХП «Сертификационный центр АСУ», Харьков, Украина

Ранее разработанные ЭМА-преобразователи типа «зигзаг» имеют двунаправленную диаграмму акустического поля [1]. Исключить двунаправленность ЭМАП возможно за счет новых подходов к построению ЭМАП и новой технологии съема информации с катушек индуктора преобразователя.

Для решения данной задачи возьмем за основу принцип построения фазированных антенных решеток. Для этого будем полагать, что ЭДС наводится в каждой катушке преобразователя с некоторым смещением Δt. Тогда суммарная ЭДС, наводимая в M катушках, находящихся на расстоянии d друг от друга, описывается следующим выражением [2]:

$$E(\phi, N, \Delta t, d, M) = E1(\phi, N)\, e^{i\cdot 2\cdot\pi\cdot f} \times$$
$$\times\left[\frac{1-\left[e^{i2\pi f\Delta t}e^{-ik(s+r+d)\cdot\cos(\phi)}\right]^{M+1}}{1-\left[e^{i2\pi f\Delta t}e^{-ik(s+r+d)\cos(\phi)}\right]} - \left[e^{i2\pi f\Delta t}e^{-ik(s+r+d)\cos(\phi)}\right]M\right].$$

Одна из оптимальных диаграмм направленности преобразователя, принимающего волны Рэлея с некоторым смещением, приведена на рисунке.

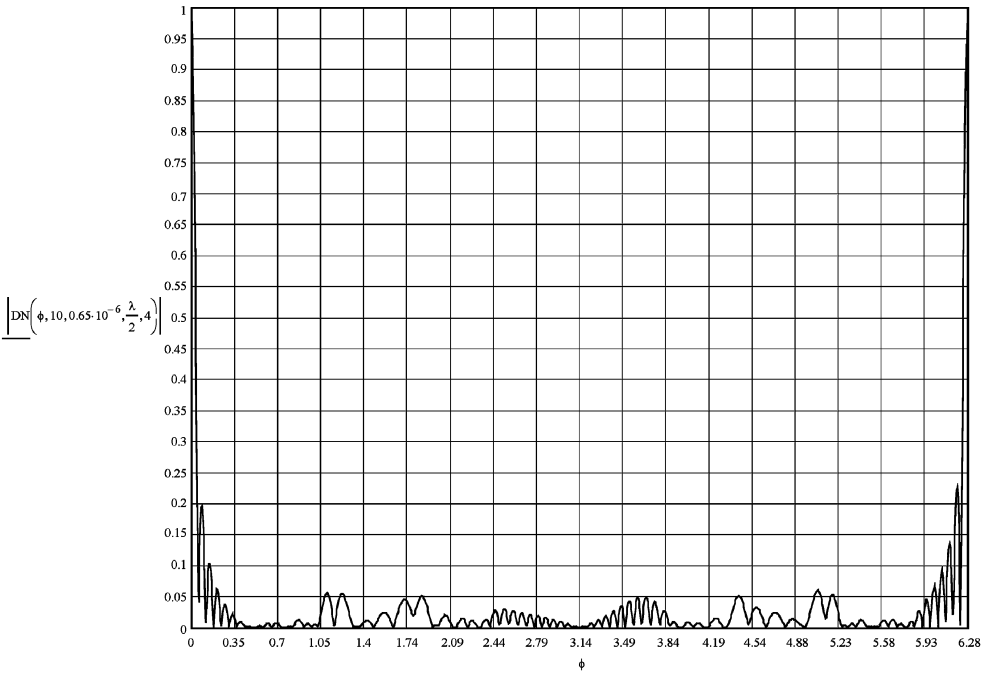


Диаграмма направленности ЭМАП при приеме акустического поля с временным смещением, равным 0,65 мкс

Математическое моделирование позволило установить возможность однонаправленного приема акустического поля волн Рэлея. При этом соотношение амплитуд основного лепестка и дополнительных достаточно для проведения неразрушающего контроля. Кроме того, основной лепесток становится более узким, что позволит более точно определить координаты обнаруживаемых дефектов. Эти выводы подтверждаются данными, приведенными на рисунке.

Литература

1. **Сучков Г.М.** Современные возможности ЭМА-дефектоскопии // Дефектоскопия. 2005. № 12. С. 24–39.

2. **Градштейн И.С., Рыжик И.М.** Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М.: Физматгиз, 1962.

С.49. **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕАКТОРОМ ПОЛИЭТЕРИФИКАЦИИ С ДИАГНОСТИЧЕСКИМ КОНТРОЛЕМ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА**

Панюшкина М.С., Дзержинский политехнический институт
(филиал Нижегородского государственного технического университета),
Дзержинск, Россия

В докладе рассматривается система управления реактором полиэтерификации с диагностическим контролем параметров процесса.

Для реактора характерны следующие особенности: периодический характер протекающего в нем процесса получения смолы для производства лака; взаимосвязанность выходных технологических координат объекта управления (выход продукта, цвет, температура, степень вязкости, кислотное число); недостаточная изученность химического процесса полиэтерификации и закономерностей влияния фракционного состава на каче-

ство конечного продукта; изменяющиеся динамические характеристики объекта управления, что связано с экзотермической реакцией полиэтерификации.

Рабочие функции управления состоят в следующем:

– регулировании основных технологических параметров, определяющих режим синтеза: температуры, давления паров;

– контроле основных технологических параметров, определяющих режим синтеза: давление в реакторе, расход азота, температура реакционной массы;

– контроле положения клапанов и состоянии насосов;

– осуществления весового дозирования компонентов в реактор;

– блокировке клапанов и насосов.

Особенности реализации этих функций в АСУТП нижеследующие. Температура характеризует тепловой баланс реактора, который складывается из выделения тепла при протекании химической реакции и отвода тепла в теплообменнике. Таким образом, реактор полиэтерификации является статическим объектом регулирования температуры. Основными возмущающими воздействиями служат изменение тепловыделения химической реакции, а также изменение температуры холодного теплоносителя (ВОТ). Вследствие большой тепловой емкости этот объект обладает значительной инерционностью и чистым запаздыванием. Выходной переменной является температура в аппарате. Регулирующим воздействием – расход теплоносителя в змеевик аппарата.

Контроль основных технологических параметров обеспечивает как безопасность процесса, так и нормальную работу оборудования. При повышении давления сверх регламентированного значения подключают реактор к воздушке. Если это не помогает, то содержимое реактора сбрасывается в аварийную емкость.

Контроль отсечных клапанов позволяет сразу выявить неисправность оборудования, при этом полностью исключается возможность испортить продукт на стадии дозирования.

Весовое дозирование позволяет полностью автоматизировать процесс загрузки сырья, также производится регистрация веса загруженных компонентов, что дает возможность вести их учет. Также значительно возрастает точность и скорость дозирования, а следовательно растет производительность установки.

Наличие блокировок позволяет практически исключить возможность аварийной ситуации. Исключается также работа оборудования в неправильном режиме, который влечет за собой выход оборудования из строя.

Автоматическое управление данным процессом усложняется в связи с изменением его динамических характеристик как объекта регулирования из-за изменения скорости реакции и количества выделяющейся тепловой энергии. Исчерпывание исходного сырья приводит к затуханию реакции. Необходимость точного поддержания температуры на данной стадии процесса объясняется влиянием на выход и качество готового продукта.

С.50. **КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СХЕМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**

Махов В.Е., Потапов А.И., Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия

Наряду с известными принципами оптического неразрушающего контроля с целью получения более высокой точности и помехозащищенности при автоматизированном способе получения результатов целесообразно использование фазовых схем контроля, в которых тот или иной контролируемый параметр объекта контроля отображается в лице периодических сигналов. В этом случае определение контролируемого параметра производится по фазовым характеристикам получаемых сигналов [1], что обеспечивает построение автоматизированных систем промышленного контроля, где регистрируется отклонение заданного параметра от номинального для управления режимами технологического процесса.

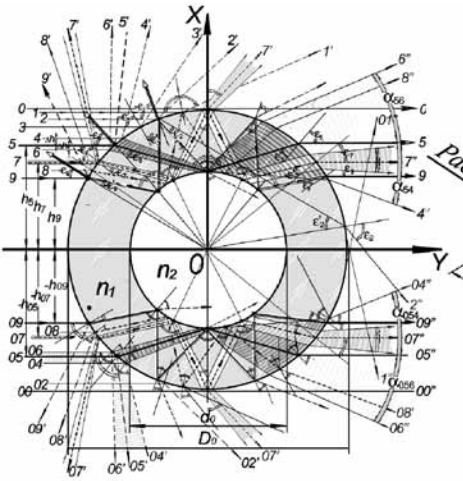


Рис. 1. Схема формирования световых реперных меток

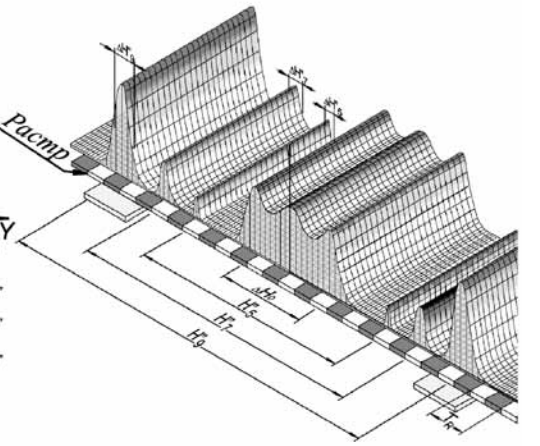


Рис. 2. Модуляция световых реперных меток

Примером такой схемы контроля является оптический фазо-растровый дилатометр [2] для контроля изменения толщины слоя материала относительно основания (например, порошкового материала на подложке, формирующегося в покрытие). Отличием такой схемы от аналогичных растровых схем является отсутствие жестко связанных с образцом реперных меток. Световые реперные метки M_1 и M_2 формируются на двух базовых поверхностях образца в требуемых координатах двумя сфокусированными гомоцентрическими пучками лучей от лазерного источника с помощью оптического осветительного устройства, в качестве которого используется устройство интерферометрического типа, под углом визирования α к нормалям соответствующих базовых поверхностей. Предельная чувствительность такой измерительной схемы определяется из условия

$$\delta\Delta H = \frac{2{,}44\lambda}{\pi \sin\alpha}\left(\frac{f'}{D}\right)\delta\Delta\varphi,$$

где (D/f) – апертурный угол пучка луча, формирующего метку.

Для возможных параметров оптической схемы: $\alpha = 30°$, $\lambda = 0{,}63$ мкм (длина волны He-Ne лазера), $D/f) = 1 : 2$, $\delta\Delta\varphi = 10^{-3}$, чувствительность измерения будет составлять $\delta\Delta H = 1{,}2 \cdot 10^{-3}$ мкм.

Другой пример – оптическая схема, которая позволяет осуществлять контроль геометрических и оптических параметров трубчатых оптических капилляров, имеющих внутренний диаметр d_0, наружный диаметр D_0 и показатель преломления материала капилляра n. Оптический капилляр представляется как двухфазная гетерогенная регулярная структура. Схема производит контроль параметров гетерогенной структура. Необходимые линейные световые реперные метки, которые связаны с контролируемыми параметрами, формируются самой геометрией контролируемого изделия (рис. 1) из гелиоцентрического пучка лучей (лазера). Локализация и параметры световых реперных меток зависят от апертуры щелевого фильтра перед оптической системой, формирующей их изображение на поверхности растрового модулятора. В качестве модулятора используется цилиндрический растр.

Зависимость расстояний между соответственными световыми реперными метками H'_k и $H'_{0л}$ связано с контролируемыми параметрами капилляра (D_0, d_0, $n_т$) системой ортогональных уравнений. Модуляция световых реперных меток (рис. 2) повышает на порядок точность определения параметров распределения светового поля, связанного с контролируемыми параметрами капилляра, что позволяет осуществлять их одновремен-

ный технологический контроль с точностью более чем 10^{-2} мкм – D_0, d_0, более чем 10^{-5} – $n_т$. Изменение размера контролируемого объекта приводит к смещению периодической световой структуры на поверхности растрового модулятора и, соответственно, пропорциональному изменению разности фаз, в то время как перемещения объекта как целое дает нулевое изменение разности фаз.

Литература

1. **Махов В.Е., Потапов А.И.** Гетеродинно-растровый метод контроля качества изделий // Дефектоскопия. 1989. № 10. С. 68–84.
2. **Махов В.Е., Потапов А.И.** Автоматизация гетеродинно растрового контроля // Неразрушающий контроль и диагностика окружающей среды, материалов и промышленных изделий. Вып. 7. 2003. С. 35–47.

С.51. ФАЗОВО-РАСТРОВЫЙ МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ МАТЕРИАЛОВ И ИЗДЕЛИЙ

Махов В.Е., Потапов А.И., Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия

В большинстве практических случаях критерии задаваемого качества изделий могут быть описаны некоторым комплексом параметров $\{p_i\}$ и их допустимыми пределами $\{\Delta_i\}$:

$$P = \{p_i, \Delta_i\}_{i=1}^{n}.$$

В дальнейшем должна решаться задача поиска средств и разработки методики контроля этих параметров с целью обеспечения заданного качества изделия. Решение такой задачи контроля заданных параметров практически всегда не адекватно ее первоначальной постановка:

$$P' = \{p'_j, \Delta'_j\}_{j=1}^{n}, \qquad (p'_j \neq p_i)(\Delta'_i < \Delta_i).$$

Можно сказать, что на практике процесс контроля чаще всего связан с множественными операциями, которые являются весьма трудоемким и самым нетехнологичным звеном производственного процесса и не всегда позволяют эффективно автоматизировать процесс контроля.

Эффективный метод контроля связан с преобразованием измеряемого параметра объекта в фазовую характеристику периодического информационного поля. Эта процедура аналогична гетеродинным оптическими методам используемым в интерферометрии [1], а также динамическим муаровым методам. Общность такого подхода основана на динамических муаровых измерениях, определяет качественную сторону как высокую информативность (максимальное использование информации, содержащейся в информационном поле) и чувствительность, помехозащищенность и эффективность построения технологических систем автоматизированного контроля. Смысл фазово-растрового метода [2] заключается в периодическом во времени преобразовании пространственной структуры информационного поля $S(r)$, определенной в некоторой пространственной области $r \in E_0$, путем воздействия на него фильтра типа пространственно-временного растра, имеющего функцию $R(r, q)$ в некоторой определенной пространственной подобласти определения информационного поля ($E_0 \subset E$), в выходной периодический информационный сигнал $u(q)$, носителем информации в котором является неаддитивный параметр формоизменения сигнала от параметра q. Параметр q может быть представлен как реальное время $q \equiv \tau$ или некоторое фиктивное время (например, при математическом моделировании на PC). Математическая зависимость от растрового преобразования стационарного информационного поля $S(r)$ в некоторое время подобный сигнал $u(q)$ посредством указанной выше пространственно-временной функции растра $R(r, q)$ в са-

мом общем случае может быть выражена интегральным преобразованием G_R, что соответствует интегральному уравнению с ядром – $R(r, q)$:

$$u(q;\ E) = G_R\{F[S(r),\ R(r,q)]\} = \int\limits_{(E)} F[S(r),(r,q)]dr\,,$$

где $F[S(r), R(r,q)]$ – некоторый функционал от структуры информационного поля $S(r)$ и заданной функции растра $R(r, q)$.

Заданной особенностью ядра $R(r, q)$ представленного интегрального уравнения для ФР метода является его строгая периодичность по параметру обобщенного времени q (период p), можно также рассматривать пространственную периодичность по r (период T_R). Временная периодичность ядра интегрального уравнения определяет, в свою очередь, временную периодичность получаемого выходного сигнала $u(q)$ при любом $S(r) \neq 0$, так как

$$u(q) = \int F[S(\boldsymbol{r}), R(\boldsymbol{r}, q+p)]d\boldsymbol{r} = u(q+p)\,.$$

Введем нормированную пространственную координату, тогда $q_r = \dfrac{T_R}{p}q$:

$$R_0''(q-r) = R''\left[\Omega\left(q_r - r - \frac{\Phi_0}{\Omega}\right)\right],$$

тогда

$$u_0(q) = KS_E(r) \otimes R_0''(q,r)\,.$$

Используя аппарат Фурье-анализа, можно перейти к спектру Фурье в левой и правой частях выражения:

$$\overset{0}{U}_0(f) = K\,\overset{0}{R}{}_0''(f)\left[\overset{0}{S}_E(f) + \overset{0}{S}_d(f) + \overset{0}{S}_n(f)\right],$$

где $\overset{0}{S}_E(f)$, $\overset{0}{S}_d(f)$, $\overset{0}{S}_n(f)$ – спектры Фурье информационного поля, функции апертуры и функции шума соответственно.

В то же время каждое из выражений, соответствующее указанному преобразованию является комплексной величиной, которая определяется амплитудой и фазой своих спектральных составляющих:

$$\overset{0}{U}_o(f) = |\overset{0}{U}_0(f)|\exp(j\varphi_{u0})\,.$$

Это в свою очередь показывает аддитивность в выходном сигнале фазы растра и информационного сигнала для каждой спектральной составляющей. Уже из результатов поверхностного анализа, который может быть проведен более подробно, видно, что апертура (E_0), а также аддитивно слагаемые факторов шума могут оказывать малозначительное влияние на фазовую характеристику выходного сигнала $u(q)$.

Литература

1. **Вест Ч.** Голографическая интерферометрия: пер. с англ. М.: Мир, 1982. 504 с.

2. **Махов В.Е., Потапов А.И.** Гетеродинно-растровый метод контроля качества изделий // Дефектоскопия. 1989. № 10. С. 68–84.

С.52. АНАЛИЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССА РАЗДЕЛЕНИЯ ВОЗДУХА С ДИАГНОСТИКОЙ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Ильин А.А., Сажин С.Г., Дзержинский политехнический институт (филиал Нижегородского государственного технического университета), Дзержинск, Нижегородская обл., Россия

Атмосферный воздух является неисчерпаемым источником сырья для получения кислорода, азота и инертных газов: аргона, неона, криптона, ксенона и гелия. Сфера

применения продуктов разделения, таких как кислород и азот, чрезвычайно разнообразна. Кислород используется для синтеза многих органических веществ, для резки и сварки металлов, в медицине и авиации. Азот применяется главным образом при синтезе аммиака, а также как инертный газ для продувки аппаратов, при производстве, хранении и транспортировке легкоокисляемых продуктов, при высокотемпературных процессах обработки металлов, не взаимодействующих с азотом.

Разделение воздуха осуществляется при криогенных температурах (ниже –150 °С) в воздухоразделительных установках двукратного действия путем ректификации.

Основное требование, предъявляемое к работе ректификационной колонны, – это устойчивая ректификация воздуха с получением конечных продуктов заданной чистоты при наибольшем коэффициенте извлечения.

Для выполнения этого требования необходимо обеспечить соблюдение технологических параметров. Невыполнение данного условия может привести не только к ухудшению качества конечного продукта, но и к аварийным ситуациям в работе блока и выходу из строя многих аппаратов.

Основные выводы о работе установки делают на базе анализа содержания газовых компонентов на входе, на промежуточных стадиях процесса и на выходе, поэтому процесс диагностики надо проводить с наибольшей точностью.

Полевая диагностика реализована приборами ф. YOKOGAWA с токовым выходом 4…20 мА. Приборы имеют самодиагностику, возможность настройки диапазонов и корректировку нуля с помощью BRAIN-терминала подключаемого по BRAIN-протоколу, некоторые приборы имеют жидкокристаллический индикатор.

Регулирующие клапана оснащены электро-пневмопозиционерами IP-6000 (ф.SMC) с токовым входом 4…20 мА. Сами регулирующие клапана, а также электропривода не менялись с момента пуска установки в эксплуатацию. Поэтому возникают трудности с привязкой арматуры к управляющему контроллеру.

Диагностические приборы представлены двумя отечественными фирмами:

– Ангарское ОКБА г. Ангарск – газоанализаторы "Флюорит-Ц", влагомеры "Байкал".

– Аналитприбор г. Смоленск – газоанализаторы ГТМ-5101М.

Приборы Ангарского ОКБА просты в эксплуатации и не требуют частых корректировок. Но их недостатком является то, что диапазоны переключаются вручную непосредственно на приборе, система управления не имеет об этом никакой информации.

Газоанализаторы ГТМ-5101М (г.Смоленск) имеют небольшие габариты, современную лицевую панель с информативным индикатором, минимум органов управления при калибровке. Но они очень чувствительны к изменению расхода измеряемого газа и требуют частой корректировки нуля и диапазона.

Регенерация адсорберов как газовых, так и жидкостных производится вручную по истечении определенного количества времени, которое фиксируется в рукописном журнале. Слив жидких продуктов в емкости хранения производит аппаратчик, ориентируясь на показания приборов. Из всех регуляторов в автоматическом режиме работает только один – поддержание уровня кубовой жидкости в нижней колонне путем изменения расхода через клапан.

С.53. **АНАЛИЗ ПРИЧИН ВОЗНИКНОВЕНИЯ ШУМА КУЛЕРОВ В КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМАХ**

Патракеев Н.В., Махов В.Е., Потапов А.И., Северо-Западный государственный заочный технический университет, Санкт-Петербург, Россия

Практические все компьютерные системы содержат системы принудительного охлаждения (кулеры) элементов повышенного тепловыделения [1], которые являются основными источниками шума. При этом шумы можно разделить на аэродинамический шум и механический шум.

Возникновение аэродинамического шума объясняется вращением крыльчатки вентилятора. Источником шума в этом случае является образование вихрей в турбулентном пограничном слое, возникающем на поверхности лопастей крыльчатки. Интенсивность шума здесь зависит от угла атаки и скорости вращения крыльчатки. Спектр аэродинамического шума вентиляторов является непрерывным, имеет максимальную интенсивность на частоте

$$\Delta F_{\max} = KV_l / d \cos\alpha \,, \qquad (1)$$

где K – коэффициент, определяемый конфигурацией вентилятора; V_l – линейная скорость лопасти (м/с); d – максимальная толщина лопасти; α – угол атаки.

Дополнительным источником аэродинамического шума являются препятствия на входе и особенно на выходе вентилятора. Основная причина шума в этом случае – вихри в турбулентном пограничном слое. Интенсивность шума зависит здесь от скорости воздушного потока и конфигурации препятствий.

Одним из источников механического шума являются подшипники вентиляторов вследствие их износа или конструктивных дефектов.

При анализе вентиляторных систем принципиально делать различать звуковую мощность и звуковое давление. Звуковой мощностью W описывают шум оборудования, соответственно, уровень звуковой мощности

$$L_W = 10\lg(W/W_0),$$

где W_0 = 10 – 12 Вт – условное пороговое значение. Это мощность звуковых колебаний, исходящих от источника шума.

Звуковое давление p является одной из локальных характеристик звукового поля (есть еще, например, колебательная скорость частиц воздуха и акустическая интенсивность), это силовая характеристика, соответственно, уровень звукового давления

$$L_p = 20\lg(p / p_0),$$

где $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па – условное пороговое значение звукового давления.

Именно звуковые колебания давления воздействуют на мембрану уха и определяют наше восприятие. Звуковое давление напрямую не связано с источником шума.

Анализ кулерного шума можно реализовать, используя технологию виртуальных приборов (ВП) фирмы National Instruments (NI) [2]. Проведено исследование процессорного кулера CPU cooler Thermaltake Blue Orb FX. Кулер имеет вентилятор диаметром 112 мм и глубиной 36,5 мм, вращающийся со скоростью 1800 об/мин. Кулер создает воздушный поток в 70 CFM, заявленный шум во время работы равен 18 дБА. Радиатор и сердцевина кулера выполнены из алюминия, а всего в конструкции насчитывается 140 радиальных ребер.

Проведены акустические исследования данного кулера с радиатором и без радиатора, а также с одной удаленной лопастью. Был использован ВП ввода акустического сигнала со звуковой карты Creative Professional E-MU 0202 USB (24 бит/192 кГц, Class-A сверхмалошумящий микрофонный/линейный предусилитель -127 дБ EIN, с дополнительным усилением 60 дБ). В качестве звукового датчика использован электретный всенаправленный микрофон Philips SBCME570 (чувствительность 45±3 дБ, частотный диапазон 50…18 000 Гц).

Приведены спектры для различных режимов. В спектре хорошо выделяются оборотный пик и пик на лопаточной частоте. Высокочастотная часть спектра снижается при уменьшении производительности. Пик на лопаточной частоте пропадает на режиме малой производительности из-за хаотического течения в рабочем колесе. На частотах ниже лопаточной видно, что режимы средних производительностей характеризуются меньшими уровнями шума. Из рассмотрения суммарных уровней шума видно, что шум на лопаточной частоте является определяющим и, если пик превышает уровни в остальных полосах на 10 дБ или более, то всем остальным можно пренебречь при оценке суммар-

ного уровня. Можно отметить, что в области низких частот, ниже 100…150 Гц результаты могут быть не очень достоверны по уровню, но они вполне позволяют производить сравнение между полученными для разных режимов спектрами, поскольку условия измерений в ходе эксперимента не менялись.

Литература

1. **Патракеев Н.В., Махов В.Е., Потапов А.И.** Анализ шумовых параметров компьютерных систем // Неразрушающий контроль и диагностика окружающей среды, материалов и промышленных изделий: межвуз. сб. Вып. 15. СПб.: Изд-во СЗТУ, 2008. С. 267–276.

С.54. РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ДИАГНОСТИКОЙ ПАРАМЕТРОВ ВХОДНЫХ ПОТОКОВ

Павлова Н.С., Дзержинский политехнический институт (филиал Нижегородского государственного технического университета), Дзержинск, Россия

В докладе рассматривается задача оптимизации и моделирования стационарных химико-технологических систем (ХТС) на примере смесителя на производстве сложных полиэфиров в условиях неопределенности с диагностикой параметров входных потоков.

Полиэфирная смола обладает следующими техническими свойствами: твердостью, атмосферостойкостью и высокой адгезией (сцеплением с отделываемой поверхностью). Полиэфирные смолы применяют для приготовления весьма ценных по техническим свойствам полиэфирных лаков, в частности для отделки древесно-стружечных плит плоского прессования (необлицованных).

Диагностика основных технологических параметров обеспечивает как безопасность процесса, так и нормальную работу оборудования. При эксплуатации смесителя необходимо диагностировать в нем значения ряда технологических величин: температуры смешиваемой массы; давления в смесителе; вращения или останова мешалки и мощности, потребляемой двигателем.

Стационарная диагностика смесителя растворения смолы выполняется по технологическим параметрам процесса, особенно когда происходит перепад температур – наибольшая нагрузка на конструкцию смесителя.

Система диагностики и контроля предназначена для объективной оценки технического состояния смесителя и диагностики дефектов, влияющих на его ресурс. Увеличение срока службы смесителя выполняется за счет своевременного выявления отклонений от заданных параметров технологического процесса.

В контексте применения математического моделирования вышеописанного процесса следует говорить прежде всего о системном анализе/диагностике как о методологической основе при разработке автоматизированных систем управления по показателям качества.

Алгоритм разработки систем управления подобного уровня представляется многошаговым процессом, который может быть изложен как:

– разделение задачи управления на подзадачи. Под этим шагом понимается разработка математической модели для каждой подсистемы и выработка соответствующих требований к ней;

– интеграция автономных подсистем и элементов в систему и оптимизация общесистемных характеристик. Этот шаг подразумевает выявление перекрестного влияния различных параметров, не связанных между собой в явном виде. Стоит отметить, что изучение подобного рода соотношений может повлечь за собой пересмотр структуры объекта, но в то же время и облегчить диагностику режимов работы объекта;

– анализ соответствия полученных характеристик требованиям к системе. При выявлении рассогласований производится уточнение моделей подсистем и предыдущие два шага повторяются.

Программная и полевая диагностика позволяет использовать не только стандартные экраны, определяемые параметры и другие системные функции, но дополнительно легко реализуются система подготовки отчетов, а также дополнительные элементы диагностики, контроля и управления для автоматизации процесса оценки состояния смесителя.

С.55. **АНАЛИЗ И ОБЗОР ВАКУУМНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ И ЕМКОСТЕЙ**

Костиков Е.С., Сажин С.Г., Мясников В.М., Дзержинский политехнический институт (филиал НГТУ) Дзержинск, Нижегородская обл., Россия

В докладе проведен анализ некоторых классов устройств для контроля герметичности трубопроводов и емкостей вакуумным и вакуумно-пузырьковым методом.

Вакуумный метод течеискания — один из методов неразрушающего контроля, позволяющий обнаруживать дефекты, выходящие на поверхность: трещины, раковины, непровары, поры и другие несплошности поверхности и околошовной зоны. Метод основан на регистрации мест натекания контрольного газа или жидкости в замкнутый объем вакуум-камеры, имеющей герметичный контакт с поверхностью контролируемого объекта. Обнаружение дефектов производится по образованию и увеличению размеров пузырьков пенообразующей жидкости в местах расположения несплошностей. По скорости увеличения размеров пузырьков можно судить о размерах дефекта.

Контролирующее устройство данного типа можно представить как совокупность вакуумной камеры, которая должна плотно прилегать к поверхности, окружающей место предполагаемого дефекта, и вакуумного насоса той или иной конструкции. Герметичность соединения камеры с поверхностью объекта обеспечивается применением профилирования, повторяющего внешнюю форму объекта, например, для устройств, предназначенных для контроля герметичности сварных швов трубопроводов большого диаметра, камера может иметь форму дуги окружности соответствующего диаметра. Конструкция некоторых устройств предполагает разборную конструкцию камеры, позволяющую подбирать ее форму за счет установки сменных вакуумных рамок. Для большей герметичности соединения обечайку камеры или рамку изготавливают из гибкого пластика или эластичной резины.

О наличии течи в контролируемой области для вакуумного метода свидетельством является изменение давления в камере за счет просачивания контрольного газа или жидкости через несплошности, либо, как в случае вакуумно-пузырькового метода, — образование пузырьков газ на поверхности объекта, образующихся благодаря предварительно нанесенному пенообразующему веществу.

Недостатком первого метода является повышенное требование к чувствительности изменения давления в камере устройства контроля.

Вакуумно-пузырьковый метод предъявляет определенный требования к пенообразующим веществам. Они должны легко наноситься на место контроля и иметь низкую степень ложного вспенивания. Пенообразователи не должны сильно затруднять проток газа через дефекты из-за капиллярного эффекта, так как это снижает чувствительность метода к небольшим величинам натекания. Температура их замерзания должна быть довольно низкой, чтобы исключить закупоривание пор кристалликами пенообразующей жидкости.

В устройствах для вакуумно-пузырькового метода нужно предусматривать дополнительные средства, облегчающие распознавание образования пузырьков газа на поверхности, что можно обеспечить, например, применением соответствующей подсветки и увеличительных смотровых стекол.

Несмотря на все недостатки, оба метода широко распространены (в некоторых случаях являясь даже единственными средствами контроля) в качестве методов неразрушающего контроля течеискания.

С.56. **РАЗРАБОТКА ПРИБОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОБЪЕКТОВ ИЗ ФЕРРОМАГНИТНЫХ МАРОК СТАЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НИЗКОЧАСТОТНОГО ЭЛЕКРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Махов В.М., Федосенко Ю.К. ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия

Чаще всего для контроля внутренних слоев ферромагнитных объектов применяется постоянное поле, хотя в последнее время почти такой же результат получают с помощью низкочастотных переменных полей. Цель данной работы – разработка прибора, позволяющего проводить контроль ферромагнитных объектов по всей толщине стенки изделия.

Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи:

– разработать электромагнитный преобразователь, позволяющий получать информацию о толщине ферромагнитного объекта и наличии дефектов на наружной и внутренней поверхностях изделия;

– установить оптимальный диапазон рабочей частоты;

– установить оптимальную мощность источника переменного тока.

В результате ранее проведенных исследований было выявлено, что для решения поставленной задачи в качестве источника поля целесообразно использовать П-образный электромагнит, что связано с ослаблением влияния на глубину проникновения поля геометрического фактора [1, 2]

Оптимальный частотный диапазон – 150…300 Гц. Мощность источника 175 ВА.

При оптимальных параметрах П-образного источника зависимости выходного сигнала измерительной схемы от толщины объекта $U_{вых} = f(T)$ – нелинейны: с ростом толщины чувствительность к этому параметру понижается. Однако до толщин Т = 20…25мм чувствительность достаточна для измерения этого параметра.

На основе полученных экспериментальных данных разработан программно-управляемый прибор для выявления дефектов, в первую очередь коррозионных повреждений как протяженных, так и локальных и расположенных как на внешней, так и на внутренней поверхностях ферромагнитного объекта.

В приборе применен генератор с цифровыми формирователями частоты и усилителя мощности и реализованы два измерительных канала: амплитудный и фазовый. В каждом канале введена компенсация сигнала, соответствующая эталонному объекту со степенью компенсации 10^{-3}. Данные о толщине контролируемого объекта выводятся на жидкокристаллический индикатор. Прибор позволяет выявлять 20%-ные коррозионные повреждения внутренней поверхности площадью 30×30мм на толщинах 15…20 мм.

Литература

1. **Махов В.М. , Федосенко Ю.К.** Исследование метода контроля толстостенных ферромагнитных объектов с использованием низкочастотного электромагнитного поля // Тезисы докл. 6-й Междунар. выст. и конф. «Неразрушающий контроль и техническая диагностика». М., 2007. С. 28, 112.

2. **Махов В.М. , Федосенко Ю.К.** Выбор основных параметров низкочастотного электромагнитного поля для контроля толстостенных ферромагнитных объектов ответственного назначения (резервуаров, трубопроводов, труб). // Тезисы докл. 7-й Междунар. выст. и конф. «Неразрушающий контроль и техническая диагностика». М., 2008. С. 2, 78.

С.57. **СТРУКТУРОСКОП МС-10**

Бакунов А.С., Артемов В.А., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия

Доклад посвящен задаче определения структурного и напряженно-деформированного состояния стальных изделий. В частности, при оценке остаточного ресурса работы металлоконструкций может быть использован неразрушающий магнитный контроль по коэрцитивной силе. Благодаря высокой чувствительности при сравнительной простоте и возможности измерения коэрцитивной силы на локальных участках, коэрцитивный метод получил широкое распространение для контроля стальных деталей в процессе изготовления, эксплуатации и при проведении ремонтных работ.

В настоящий момент выпускается ряд структуроскопов, например КРМ-Ц-К2М, имеющих высокую погрешность измерения и малый допустимый зазор между преобразователем и поверхностью контролируемого изделия.

В ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр» взамен магнитного структуроскопа КРМ-Ц-К2М был разработан магнитный структуроскоп МС-10. В новом приборе устранены вышеописанные недостатки (достигнута малая погрешность измерений, увеличен допустимый зазор между преобразователем и поверхностью контролируемого изделия) и улучшен ряд параметров (увеличен диапазон измерения коэрцитивной силы, расширен температурный диапазон), а применение современной элементной базы позволило повысить надежность и уменьшить энергопотребление. В состав магнитного структуроскопа МС-10 входят: компактный измерительный блок с аккумулятором, преобразователь и зарядное устройство. МС-10 обладает большим дисплеем с высокой яркостью и контрастностью и удобным пользовательским меню с возможностью предварительного просмотра результатов измерений.

Внешний вид магнитного структуроскопа МС-10

В основу работы структуроскопа положено определение тока размагничивания для локального участка в замкнутой магнитной цепи, образованной сердечником электромагнита преобразователя, прижатого полюсами к поверхности изделия и участком изделия находящимся между полюсами, после предварительного его намагничивания. Ток размагничивания участка изделия связан с его коэрцитивной силой.

Внешний вид магнитного структуроскопа представлен на рисунке, а сравнительные технические характеристики магнитных структуроскопов МС-10 и КРМ-Ц-К2М представлены в таблице.

Сравнение технических характеристик магнитных структуроскопов КРМ-Ц-К2М и МС-10

Технические характеристики	КРМ-Ц-К2М	МС-10
Диапазон измерения коэрцитивной силы материала контролируемых изделий, А/см	1...40	1...64
Предел допускаемой основной погрешности измерений коэрцитивной силы при температуре окружающего воздуха 20 ± 5 °С, А/см	Не превышает 0,1 + 0,048 H_c	Не превышает 0,1 + 0,035 H_c
Предел допускаемой дополнительной погрешности измерений коэрцитивной силы на стандартных образцах при отклонениях температуры окружающего воздуха от нормальной	На каждые 100 °С не превышает 0,5 предела основной погрешности	На каждые 200 °С не превышает 0,5 предела основной погрешности
Значение погрешности обеспечивается при зазоре между преобразователем и поверхностью контролируемого изделия, мм	До 0,2	До 0,5
Габаритные размеры измерительного блока (длина х ширина х высота), мм	260×205×55	190×140×80
Масса электронного блока с аккумулятором, кг	2,5	2,3
Связь с компьютером для передачи данных измерения	Проводная, по интерфейсу RS-232	Беспроводная, по интерфейсу Bluetooth®
Диапазон температур окружающего воздуха при эксплуатации структуроскопа, °С	–10…+40	–20…+40
Время непрерывной работы от аккумулятора, ч	8	16

С.58. **МОДЕРНИЗИРОВАННЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ПРОВЕРКИ КАЧЕСТВА МАГНИТНЫХ ПОРОШКОВ И СУСПЕНЗИЙ МФ-10СП**

Бакунов А.С., Кудрявцев Д.А., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия

В неразрушающей дефектоскопии для визуального выявления нарушений сплошности в изделиях, т.е. для обнаружения различных дефектов, применяют магнитные порошки. Исходя из достаточно большого расхода магнитного порошка при проведении контроля, экономически выгодно использовать магнитные порошки и суспензии несколько раз. Но так как обычно объект контроля не идеально чистый, то в порошок или суспензию попадают частицы грязи и ржавчины, а из-за того, что часть магнитного порошка оседает на объекте контроля, происходит уменьшение концентрации порошка в суспензии. В результате воздействия всех этих факторов чувствительность магнитного порошка уменьшается вплоть до значения, при котором не происходит выявления дефектов.

Существующие стандарты [1, 2] требуют регулярного контроля качества (чувствительности) магнитных порошков и суспензий. Для оценки чувствительности магнитных порошков и суспензий применяют различное оборудование, например пластиковые карточки с искусственным локальным магнитным полем на магнитной ленте [3, 4, 5]. Для оценки чувствительности также используют различные тест-образцы, например образец MTU, образец Бертхольда, кольцевой образец (ASME).

Помимо этого, существуют и специальные приборы для проверки качества и чувствительности магнитных порошков и суспензий, например прибор ПКМС-2.

В ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр» также выпускается прибор для проверки качества магнитных порошков и суспензий МФ-10СП, позволяющий давать количественную оценку чувствительности магнитного порошка и суспензии [6]. В состав прибора входят электронный блок и электромагнит, предназначенный для создания равномерно убывающего магнитного поля рассеяния и состоящий из четырех катушек и магнитопровода с двумя протяженными искусственными несплошностями в форме плоских щелей. Принцип работы прибора основан на создании равномерно убывающего магнитного поля рассеяния вдоль двух протяженных искусственных несплошностей в виде щелей с шириной 50 и 100 мкм в магнитопроводе электромагнита, обработке поверхности магнитопровода с несплошностью испытуемым магнитным порошком (или суспензией) и измерении по шкале прибора в миллиметрах длины одного из индикаторных рисунков несплошностей в зависимости от размеров частиц магнитного порошка.

Внешний вид прибора для проверки качества магнитных порошков и суспензий МФ-10СП

Условная чувствительность магнитного порошка (суспензии) определяется сравнительной оценкой длины индикаторных рисунков, образуемых испытуемым магнитным порошком (суспензией) и магнитным порошком (суспензией), обеспечивающим необходимый условный уровень чувствительности магнитопорошкового метода неразрушающего контроля конкретных изделий. Регулярно замеряя изменение чувствительности порошка в процессе его эксплуатации, можно спрогнозировать момент, когда чувствительности порошка будет недостаточно для выявления дефектов, и заранее заменить старый порошок на новый. Кроме того, прибор МФ-10СП позволяет оценить условные чувствительности различных порошков и сопоставить их друг с другом.

В 2008 г. прибор МФ-10СП был модернизирован и переведен на современную элементную базу, что позволило повысить надежность прибора, уменьшить его массу и габариты, снизить на порядок энергопотребление, ввести цифровую индикацию намаг-

ничивающего тока и его плавную регулировку, повысить эргономику прибора. Для большего удобства работы электромагнит имеет теперь наклонную конструкцию, облегчающую работу с суспензиями. Кроме того, в комплект прибора включена ванночка для сбора суспензии. Внешний вид прибора МФ-10СП приведен на рисунке.

Прибор МФ-10СП позволяет быстро оценить качество магнитной суспензии, достаточно включить прибор, установить значение тока намагничивания, полить суспензию на электромагнит и измерить длину осажденного магнитного порошка над искусственной несплошностью. Этим прибор МФ-10СП выгодно отличается от других приборов оценки качества магнитных порошков и суспензий, например от прибора ПКМС-2, в котором намагничивающий ток регулируется ступенчато, а критерий оценки порошка – определение силы тока, при которой происходит оседание порошка по всей длине искусственной несплошности электромагнита. Таким образом, для оценки качества магнитного порошка (суспензии) с помощью прибора ПКМС-2 требуется несколько циклов выставления значения тока, полива суспензии на электромагнит, оценки результата оседания порошка, уменьшения либо увеличения значения тока намагничивания, так до нахождения того порогового минимального значения тока, при котором будет зафиксировано осаждение порошка по всей длине искусственной несплошности.

Прибор МФ-10СП лишен недостатков, присущих другим приборам и образцам проверки качества магнитных порошков и суспензий, а благодаря модернизации достиг нового уровня удобства и простоты использования.

С помощью прибора МФ-10СП можно сравнить чувствительности различных магнитных порошков и суспензий, а при многократном их использовании можно спрогнозировать момент, когда чувствительность порошка будет недостаточной для выявления дефектов и необходима будет замена отработанной суспензии на новую. Прибор для проверки качества магнитных порошков и суспензий МФ-10СП позволяет контролировать чувствительность и аэрозолей, и сухих порошков, и суспензий.

Литература

1. **ASTM E-1444:** Standard Practice for Magnetic Particle Examination.

2.**ASTM E-709:** Standard Guide for Magnetic Particle Examination.

3.**Chedister W.C.** The Magnetic Stripe Card: An Innovation Tool For Magnetic Particle Bath Control // Materials Evaluation. 1996. № 10.

4. **William C.C.** MT Bath Condition: Time for a Change // Materials Evaluation № 6, 1999.

5.**CSC Special Bar Co.** Improves Defect Detection by Using Magnetic Cards // Metalproducing. 1996. №2.

6.**Шелихов Г.С.** Магнитопорошковая дефектоскопия деталей и узлов: практическое пособие. М.: НТЦ “Эксперт”, 1995.

С.59. **СИСТЕМЫ С ДВУМЯ ФЛУОРОФОРАМИ В ПЕНЕТРАНТАХ ДЛЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ**

Хролова О.Р., Пономарева О.В., Тавризова М.А., Глазков Ю.А.,
ООО НПФ "ДЕЛТАКОР", г. Долгопрудный, Московская обл., Россия

Сообщение относится к составам индикаторных люминесцентных пенетрантов для капиллярной дефектоскопии и механизму действия так называемых двуфлуорофорных систем. В него включены результаты исследований авторов, а также данные из литературных и патентных источников.

Пенетранты должны обладать:

– физико-химическими свойствами, определяющие способность материалов к прониканию в дефекты (вязкость, поверхностное натяжение);

– относительно низкая токсичность и пониженная пожароопасность;

– способность обеспечивать высокую чувствительность, т.е. по возможности, минимальный размер выявляемых дефектов.

Последнее требование выполняется, в частности, за счет выбора люминофоров.

При этом люминофоры должны обладать достаточной яркостью свечения на сорбентах проявителя и иметь высокий квантовый выход люминесценции в растворах.

Для повышения чувствительности люминесцентных пенетрантов, т.е. для увеличения яркости свечения в дефектах, использованы несколько (в основном два) люминофоров, работающих по принципу каскадной люминесценции за счет межмолекулярного переноса энергии электронного возбуждения. При этом люминофор-донор поглощает свет в области излучения УФ-лампы используемой для осмотра деталей при контроле. Люминофор-акцептор наряду с поглощением излучения УФ-лампы, поглощает также излучение люминофора-донора и излучает в области, наиболее чувствительной для человеческого глаза (желто-зеленая область спектра). Таким образом, повышается чувствительность метода.

При использовании только одного люминофора, оптимально сочетающего за счет выбранной структуры область поглощения и люминесценции, с одной стороны, теряется много света из-за неполного перекрывания спектров излучения лампы и спектра поглощения люминофора, с другой стороны, не достигается оптимальная для человеческого глаза область излучения, так как Стоксов сдвиг в спектрах флуоресценции для люминофоров в сине-зеленой области не превышает, как правило, 100 нм.

В составах, разработанных нами в «Делтакоре» высокочувствительных пенетрантов, в качестве люминофора-донора используется люминофор, имеющий максимум поглощения при 375 нм и максимум люминесценции в области 440…450 нм. В свою очередь, люминофор-акцептор (один или несколько) имеет максимум поглощения при 440…450 нм и максимум люминесценции в области 520…530 нм (в желто-зеленой области спектра).

Таким образом, авторами сообщения разработаны новые отечественные пенетранты со сверхвысокой чувствительностью, обладающие к тому же пониженной токсичностью и пониженной пожароопасностью за счет использования соответствующих высококипящих органических растворителей. Пенетранты содержат в своем составе в качестве люминофора-донора кумарин сине-фиолетового свечения, а в качестве люминофора акцептора один или несколько кумаринов желто-зеленого свечения. Разработанные пенетранты имеют, соответственно, 1-й класс чувствительности согласно ГОСТ 18442 и 3-й класс чувствительности согласно DIN EN ISO 3452-3.

С.60. **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОЛЕНОИДОВ ПРИ МАГНИТОПОРОШКОВОМ КОНТРОЛЕ АВИАЦИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ**

Прудинник С.А., ФГУ «13 ГНИИИ Минобороны России»,
Люберцы, Московская обл., Россия

В условиях эксплуатации и ремонта авиационной техники (АТ) доля устройств соленоидального типа (соленоиды, катушки, гибкие кабели), применяемых при магнитопорошковом контроле (МПК) авиационных деталей в качестве намагничивающих, составляет около 90 %. Несмотря на множество методик расчета параметров магнитных полей соленоидов, использовать их в практике дефектоскопии сложно, так как все они, как правило, имеют общетеоретический характер и рассчитаны на знание сложного математического аппарата. Поэтому эти методы расчетов связаны с трудностями для инженерных оценок режимов намагничивания при МПК.

Существующая технология расчета режима намагничивания с помощью соленоида выполняется для напряженности магнитного поля в точке на продольной оси в центре катушки и не учитывает неоднородный характер магнитного поля, поскольку известно, что напряженность поля убывает еще задолго до перемещения точки измерения за пределы выходного окна соленоида.

Следует отметить, что особенностью деталей АТ является их протяженность (часто приходится контролировать длинные детали типа валов, стоек шасси, подкосов и т. д.), а в настоящее время есть только общая рекомендация разбивать протяженные зоны контроля длинномерных деталей на участки контроля. Поэтому в результате контроля не всегда обеспечивается эффективное намагничивание всей поверхности зоны контроля проверяемой детали, поскольку происходит уменьшение или превышение напряженно-

сти намагничивающего поля по сравнению с расчетной величиной, что в свою очередь вызывает различные негативные последствия, которые в конечном итоге приводят, как правило, к пропуску дефекта и снижению эффективности контроля.

Таким образом, при намагничивании необходимо учитывать неоднородный характер соленоидальных полей. С этой целью установлены зависимости неоднородности магнитного поля соленоида в радиальном и продольном направлениях. Эти неоднородности зависят от величины соотношения длины и диаметра катушки.

Предложена система количественных показателей неоднородности магнитного поля соленоида в радиальном и продольном направлениях, которая позволит обоснованно выбирать оптимальный размер и количество участков контроля протяженных объектов АТ.

На основе предложенных показателей разработана методика определения рациональных режимов намагничивания соленоидами при МПК деталей АТ, учитывающая особенности магнитного поля соленоида, размеры зоны контроля и размеры соленоида, а также способ контроля.

Применение данной методики позволит достигать необходимых значений намагниченности на всей поверхности зоны контроля и исключить случаи пропуска дефектов по причине недостаточной намагниченности контролируемой детали.

С.61. **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИНДИКАТОРНЫХ РИСУНКОВ ДЕФЕКТОВ ПУТЕМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИХ КОНТРАСТА**

Прудинник С.А., ФГУ «13 ГНИИИ Минобороны России»,
Люберцы, Московская обл., Россия

При подготовке и проведении магнитопорошкового контроля специалисту, проводящему контроль, довольно часто приходится оценивать качество индикаторных рисунков дефектов. Такая необходимость возникает, например, при проверке качества магнитной суспензии, выборе режимов контроля или сравнении выявляющей способности различных суспензий при исследовательских работах. И не всегда эта оценка бывает однозначной. Кроме того, автоматизацию процесса магнитопорошкового контроля наиболее просто реализовать с помощью такой оценки.

Для этой цели разработан метод, позволяющий количественно определить качество индикаторных рисунков обнаруженных дефектов путем оценки контраста этих рисунков. Сущность предложенного метода оценки контраста индикаторных рисунков заключается в следующем. Полученные индикаторные рисунки фиксируются путем цифрового фотографирования. После этого изображение индикаторных рисунков обрабатывается с помощью специальных программ (например, «Photoshop») путем перевода изображения в черно-белый вид. Необходимость этого обусловлена тем, что порог контрастной чувствительности глаза, т.е. значение контраста объекта, при котором его можно отличить от фона, ниже порога цветовой чувствительности глаза. То есть когда глаз человека начинает отличать объект от фона, различить его цвет еще невозможно. К тому же это позволяет корректно провести сравнение результатов оценки контраста образованных индикаторных рисунков с результатами контроля, полученными дефектоскопистом при обычном контроле.

Далее с помощью программного пакета «HESPERUS» оценивается яркость фона и яркость индикаторного рисунка, путем получения диаграмм яркости. После чего определяется контраст образованного индикаторного рисунка по формуле: $C = \frac{L_{\Phi} - L_{ИР}}{L_{\Phi}}$.

В зависимости от того, какими будут выбраны значения различных факторов, влияющих на результаты контроля, контраст индикаторных рисунков дефектов будет принимать различные значения.

Применение данного метода оценки контраста позволяет дать простую количественную оценку качества образованного индикаторного рисунка, не искажая ее при этом учетом субъективных особенностей исполнителя контроля по расшифровке индикаторного рисунка.

С.62. **БИС-АЗОКРАСИТЕЛИ С ВНУТРИМОЛЕКУЛЯРНОЙ ВОДОРОДНОЙ СВЯЗЬЮ В ПЕНЕТРАНТАХ ДЛЯ ЦВЕТНОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ**

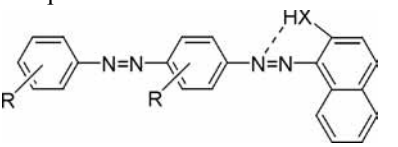
Пономарева О.В., Глазков Ю.А., Хролова О.Р., ООО НПФ "ДЕЛТАКОР",
Долгопрудный, Московская обл., Россия

Сообщение относится к красителям, используемым в составах индикаторных цветных пенетрантов для капиллярной дефектоскопии. Наибольший контраст для глаза при дневном освещении, как известно, достигается для красной окраски на белом фоне. В связи с этим в составах пенетрантов наиболее часто используются, как правило, красители красного цвета в сочетании с проявителем белого цвета.

Вышеуказанные красители должны иметь, соответственно, интенсивные длинноволновые полосы в спектрах с максимумом поглощения в выбранных растворителях λ_{max} = 500…540 нм.

Наилучший эффект достигается при λ_{max} = 520…530 нм.

При рассмотрении различных классов красителей, имеющих красную окраску и необходимую растворимость в неполярных органических растворителях (используемых обычно в цветных пенетрантах), следует учитывать также их спектры, светостойкость, технологию получения и экономические затраты. При оптимизации по указанным параметрам наиболее целесообразно использовать бис-азокрасители, содержащие дополнительно группировки, образующие внутримолекулярную водородную связь (ВВС), а также заместители, улучшающие их растворимость в неполярных растворителях. Образование ВВС, с одной стороны, сдвигает батохромно длинноволновую полосу, что позволяет использовать красители с более короткой цепью, а они более светостойки, с другой стороны, за счет обратимой перестройки структуры в возбужденном состоянии также значительно увеличивается светостойкость красителей. В общем случае рассматриваемая структура красителя выглядит следующим образом :



R представляют собой различные алкильные заместители - метил, этил и др.

X представляет собой O, NR^1, где R^1 означает алкил.

Алкильные заместители R, с одной стороны, повышают растворимость в неполярных средах, с другой – сдвигают батохромно полосы поглощения в спектрах. При этом наиболее оптимальными являются алкильные заместители с длинной алкильной цепью. Однако из экономических и технологических соображений используются, как правило, метильные заместители и в некоторых случаях этильные. Группировка XH должна быть способна к образованию ВВС с неподеленной парой атома азота азогруппы.

Авторами работы на основе вышерассмотренных бис-азокрасителей были созданы высокочувствительные цветные пенетранты для капиллярной дефектоскопии. В качестве красителей были использованы бис-азокрасители – красители, содержащие в качестве XH-групировки OH или NHC_2H_5, а в качестве заместителей R две или более метильных групп в различных положениях фенильных колец.

С.63. **БЕСКОНТАКТНАЯ ДИАГНОСТИКА ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ**

Дубов А.А., Дубов Ал.А., ООО «Энергодиагностика», Москва, Россия

В 2000 г. предприятие ООО «Энергодиагностика», имея к тому времени более чем 20-летний опыт развития метода магнитной памяти металла и приборов типа ИКН, приступило к освоению бесконтактной магнитометрической диагностики (БМД) газонефтепроводов, расположенных под слоем грунта. В комплекте с приборами типа ИКН были изготовлены специализированные многоканальные высокочувствительные феррозондо-

вые датчики, блок счета длины.

Первые же работы, выполненные «Энергодиагностике» на практике по БМД, выявили те же диагностические параметры оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) газонефтепроводов, которые к тому времени были разработаны в методе магнитной памяти металла (МПМ).

БМД основана на измерении искажений магнитного поля Земли $H_з$, обусловленных изменением магнитной проницаемости металла трубы в зонах концентрации напряжений (ЗКН) и в зонах развивающихся коррозионно-усталостных повреждений. При этом характер изменений поля $H_з$ (частота, амплитуда) обусловлен деформацией трубопровода, возникающей в нем вследствие воздействия ряда факторов: остаточных технологических и монтажных напряжений, рабочей нагрузки и напряжений самокомпенсации при колебаниях температуры наружного воздуха и среды (грунта, воды и т.д.).

При расшифровке информации о состоянии трубопроводов по изменениям магнитного поля, фиксируемого на расстоянии 200…300 мм от поверхности земли, используются критерии и программный продукт, разработанные в ООО «Энергодиагностика» на основе метода магнитной памяти металла.

Многочисленные экспериментальные работы, проведенные в лабораторных и промышленных условиях, развивая метод МПМ, выявили ряд не изученных ранее эффектов в области магнетизма и сопротивления деформированию металла. Не изучив основы взаимодействия силовых и слабых магнитных полей в металлах, невозможно эффективно развивать БМД.

В настоящее время изготавливаются и используются на практике два типа датчиков для измерения трех компонентов магнитного поля. Один датчик позволяет измерять магнитное поле вдоль одной образующей или вдоль оси трубы, а другой – одновременно вдоль трех или четырех образующих с охватом всего диаметра трубы. Приборы типа ИКН в комплекте со специализированными датчиками могут работать как в режиме сканирования с блоком счета длины (при непосредственном контроле труб), так и в режиме таймера. Решена задача автоматической привязки регистрируемых значений магнитного поля в режиме таймера с длиной контролируемого участка трубопровода путем установки на приборе ИКН GPS–координатора. Универсальность приборов ИКН позволяет их использовать как при БМД, так и в местах шурфовок при непосредственном контроле труб по методу МПМ, путем подключения к прибору другого типа датчика.

В 2003 г. предприятием ООО «Энергодиагностика» были разработаны методические указания (МУ) по проведению бесконтактного магнитометрического обследования газонефтепроводов с использованием приборов ИКН.

В соответствии с решением конференции ОАО «Газпром», которая была проведена в мае 2007 г. отделом электрохимзащиты, была составлена «Инструкция по бесконтактному магнитометрическому обследованию магистральных газопроводов и отводов с использованием метода магнитной памяти металла».

МУ и указанная инструкция могут быть использованы специалистами, владеющими методами неразрушающего контроля, аттестованными в соответствии с требованиями Ростехнадзора в НОАП «Энергодиагностика» (Москва).

При подготовке специалистов в НОАП «Энергодиагностика» в доступной форме изучаются теоретические и практические положения по методу МПМ, которые могут быть использованы при БМД.

Основной задачей всех методов и средств диагностики при оценке состояния газонефтепроводов, находящихся в длительной эксплуатации, является поиск (или определение) потенциально опасных участков с развивающимися повреждениями. В результате обследования необходимо ответить на вопрос: где и когда следует ожидать повреждения или аварии? Если такая задача решается, то в этом случае обеспечивается возможность своевременной замены или ремонта потенциально опасного участка. Именно на решение этой задачи направлено применение БМД в сочетании с дополнительным контролем трубопроводов (УК, вихреток и др.) в шурфах, определяемых БМД.

С.64. **ОПРЕДЕЛЕНИЕ БЕЛИЗНЫ ПРОЯВИТЕЛЕЙ ДЛЯ КАПИЛЛЯРНОГО КОНТРОЛЯ В ТОНКОМ СЛОЕ**

Глазков Ю.А., ФГУ «13 ГНИИ Минобороны России»,
Люберцы, Московская обл., Россия

Вероятность обнаружения дефектов при капиллярном контроле определяется контрастом индикаторных рисунков на фоне проявителя. Важнейшим свойством проявителей является белизна образуемого ими на поверхности деталей слоя. Обычно проводят визуальную оценку качества толстого (толщиной до 100…150 мкм) ненормированного слоя проявителя в сравнении с образцом. Но проявители применяются в тонких слоях – толщиной 10…30 мкм, когда их белизна существенно отличается от белизны в толстом слое. Известно, что при толщинах покрытий менее 200 мкм подложка просвечивает через слой покрытия, что искажает результаты испытаний. Однако при оценке свойств проявителей влияние оптических свойств подложки не учитывается.

При использовании одной и той же подложки белизна – коэффициент диффузного (рассеянного) отражения проявляющей – краски изменяется с увеличением ее толщины до 120…150 мкм и при дальнейшем увеличении толщины практически не изменяется. Физический механизм изменения белизны проявителя с ростом его толщины обусловлен увеличением рассеяния светового потока по закону Бугер–Ламберта–Бера. Установлено, что значение коэффициента диффузного отражения проявителя η_i, нанесенного на подложку с коэффициентом отражения $\eta_п$, достаточно точно определяется с помощью показательной функции

$$\eta_i = \eta_{max} - e^{-Xd_i}(\eta_{max} - \eta_п), \qquad (1)$$

где η_{max} - максимальное значение коэффициента диффузного отражения проявителя при толщине слоя более 150 мкм; d_i - толщина слоя проявителя на подложке, мм; X – безразмерная физическая константа, показатель рассеяния света веществом проявителя.

Для сравнения значений белизны разных проявителей необходимо ставить их в одинаковые условия, т.е., использовать одинаковые подложки с равными коэффициентами отражения и наносить на них слой проявителя одной и той же толщины. Однако выполнить это практически невозможно. Предложено преодолеть эти трудности путем определения коэффициента отражения слоя проявителя любой случайной толщины, нанесенного на какую-либо подложку, а затем рассчитывать значение белизны для стандартных условий, приняв значение коэффициента отражения подложки равным нулю, а толщину слоя проявителя равной 30 мкм (0,030 мм). «Стандартная» толщина слоя проявителя может быть любой другой, но при испытаниях, результаты которых сравниваются, она должна быть одинаковой.

Для этого преобразовали формулу (1), приняв, что $\eta_п = 0$. Тогда

$$\eta_р = \eta_{max}(1 - e^{-Xd_з}), \qquad (2)$$

где $\eta_р$ – расчетное значение коэффициента отражения (белизна) слоя проявителя заданной («стандартной») толщины $d_з$.

Такой прием позволяет исключить влияние коэффициента отражения подложки на результаты измерений и оценивать белизну, создаваемую только слоем проявителя, и точно оценивать его оптические свойства.

В качестве подложки могут применяться пластины из любого твердого непрозрачного бесцветного материала (черные или серые), не обладающие ярко выраженным зеркальным отражением и не вступающие в химическое взаимодействие с компонентами исследуемых проявителей: пластмассовые пластины, стальные шлифованные, стальные вороненые, оцинкованные или кадмированные и т.д. При использовании любой подложки изменение коэффициента диффузного отражения слоя проявителя подчиняется одному и тому же закону, описываемому формулой (1).

С.65. **СИСТЕМА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БЕСКОНТАКТНЫХ ТОЛЩИНОМЕРОВ**

Артемьев Б.В., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия

Как всякие измерительные приборы, рентгеновские толщиномеры нуждаются в поверке и калибровке. Над проблемой метрологического обеспечения (контрольно-поверочными устройствами) рентгеновских толщиномеров, предназначенных для неразрушающего контроля промышленных изделий, измерения толщины листового проката из черных и цветных металлов, работа ведется не первый год.

На первом этапе, когда рентгеновская толщинометрия работала только на черную металлургию и обеспечивала точность до 1…3 %, число эталонных образцов колебалось от 1 до 8 на прибор. Они устанавливались и снимались вручную. Решение заключается в том, что стенд, содержащий бокс с оболочкой из рентгенопоглощающего материала, устанавливается на испытуемый рентгеновский толщиномер, включающий в себя рентгеновский излучатель и приемник излучения, размещенные в боксе по оси 0-0 (рисунок), схему обработки, устройства управления, запоминания и регистрации, диск с приводом вращения диска вокруг своей оси 0_1-0_1, расположенный между излучателем и приемником толщиномера, и наборы образцов из различных материалов эталонных толщин. А в диске в окружном поперечном его сечении радиуса *r* выполнены окна, в которых закреплены образцы эталонных толщин, и диск смещен своей осью 0_1-0_1 параллельно от оси 0-0 рентгеновского потока излучателя на величину *r*, снабжен вторым диском с приводом вращения второго диска вокруг своей оси 0_2-0_2, и наборами сменных образцов рабочих толщин и сменных дополнительных образцов эталонных толщин также из различных материалов. При этом во втором диске выполнены в окружном поперечном сечении радиуса *r* окна, аналогичные окнам первого диска, в которых установлены сменные образцы рабочих толщин и (или) сменные дополнительные образцы эталонных толщин. Причем второй диск расположен между первым диском и приемником излучения и смещен своей осью 0_2-0_2 от оси 0-0 рентгеновского потока на величину *r*, а первый диск дополнен в окружном поперечном сечении радиуса *r* двумя окнами, одно из которых открыто для рентгеновского потока излучения, другое закрыто для рентгеновского излучения экраном из рентгенопоглощающего материала.

Результатом данного подхода являются: широкий диапазон контролируемых толщин с одинаковой достоверностью за счет имитации практически любой толщины эталонными образцами из различных материалов, стабильность метрологических показателей толщиномера во всем диапазоне контролируемых толщин, обеспеченная лабораторными условиями настройки на образцах эталонных толщин и рабочих толщин, а также высокая рентгенобезопасность окружающей среды и, в частности, обслуживающего персонала при настройке и калибровке включенного в сеть толщиномера во вскрытом состоянии за счет введенного экрана и оболочки бокса.

С.66. **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО КОРРЕКТИРУЮЩЕГО КОНТУРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ТЕРМИЧЕСКОГО ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ**

Сажин В.А., Дзержинский политехнический институт (филиал НГТУ), Дзержинск, Нижегородская обл., Россия

В докладе представлен материал по математическому моделированию диагностических корректирующих контуров системы управления. В основе диагностики лежит использование многокомпонентного газоаналитического комплекса типа ЭМГ 21 (ОАО «МЕТЕК», Санкт-Петербург). Комплекс позволяет одновременно диагностировать дымовые отходящие газы по таким потенциально опасным компонентам, как NO_x, CO, SO_2, а также по кислороду.

По результатам диагностики вводится коррекция с целью изучения температуры сжигания отходов и изменения количества воздуха, подаваемого в горелки.

Математическая модель системы управления температурой процесса состоит из математической модели объекта управления (уравнений материального и теплового балансов), уравнения регулятора и алгоритмов работы корректирующих блоков.

Уравнение теплового баланса в явном виде относительно температуры процесса горения T, можно записать

$$\frac{dT}{dt}+\frac{F_{\text{вых}}s_{\text{вых}}}{V\rho_{\text{см}}s_{\text{см}}}T=\left(\frac{F_{\text{мет}}s_{\text{мет}}}{V\rho_{\text{см}}s_{\text{см}}}+\frac{\sum F_i s_i}{V\rho_{\text{см}}s_{\text{см}}}+\frac{F_{\text{возд}}s_{\text{возд}}}{V\rho_{\text{см}}s_{\text{см}}}\right)T_{\text{вх}}+\ldots$$
$$+H_{\text{мет}}\frac{F_{\text{мет}}}{V\rho_{\text{см}}s_{\text{см}}}+\frac{M_i}{\rho_{\text{см}}s_{\text{см}}}\sum H_i\frac{dC_i}{dt}-F_{\text{H}_2\text{O}}H_{\text{H}_2\text{O}},$$

где индекс «$_{\text{вых}}$» относится к параметрам выходного потока дымовых газов; ρ_i и s_i – плотности и теплоемкости компонентов реагирующей смеси; $\rho_{\text{см}}$ и $s_{\text{см}}$ – плотность и теплоемкость реагирующей смеси; $F_{\text{вых}}s_{\text{вых}}=\sum F_{i\,\text{вых}}s_{i\,\text{вых}}$, где i- номер компонента дымовых газов.

Уравнение регулятора температуры в печи сжигания жидких отходов

$T_{p1}\dfrac{dC_i}{dt}+F_{\text{мет}}=k_{p1}(T_{\text{зад}}-T)$, здесь T_{p1} *и* k_{p1} – параметры регулятора.

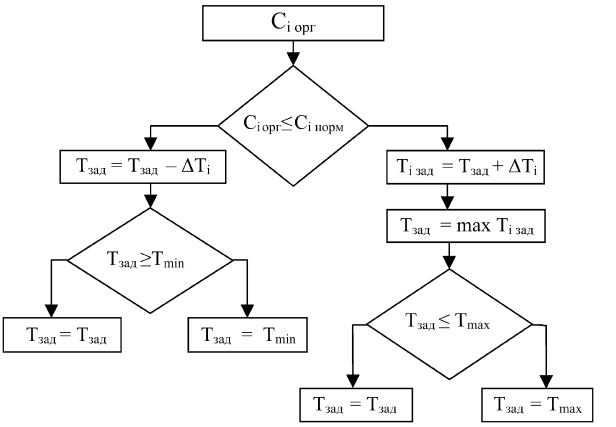
$F_{\text{возд}}=\alpha F_{\text{мет}}$ – уравнение коррекции задания на расход воздуха в печь.

Определен алгоритм корректировки задания температуры в печи по результатам анализа дымовых газов (см. рисунок).

Вторым важнейшим фактором, который обеспечивается системой диагностики и управления, является экономичность процесса.

Повышение содержания остаточного кислорода в дымовых газах говорит о том, что в печь подается избыток воздуха. При этом происходит унос тепла, а для повышения температуры в печи необходимо увеличить расход природного газа, что ведет к дополнительным затратам.

Блок-схема алгоритма корректировки задания температуры в печи обезвреживания отходов по результатам диагностики дымовых газов



Задачу минимизации остаточного кислорода решает контур коррекции подачи воздуха в печь по содержанию кислорода в дымовых газах.

Первоначально задание регулятору подачи воздуха в печь устанавливается с использованием математической модели процесса окисления (баланс по кислороду):

$$V\frac{dC_{\text{O}_2}}{dt}=\frac{F_{\text{возд.}\gamma_{\text{O}_2}}}{M_{\text{O}_2}}-GC_{\text{O}_2}-2\frac{F_{\text{мет}}}{M_{\text{мет}}}-V\sum k_iC_iC_{\text{O}_2}^{ni}\exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right).$$

В стационарном режиме имеем следующее уравнение для определения необходимой подачи воздуха при допустимом содержании кислорода и органических примесей в дымовых газах:

$$F_{\text{возд}} = \frac{M_{O_2}}{\gamma_{O_2}}\left[2\frac{F_{\text{мет}}}{M_{\text{мет}}} + GC_{O_2} + V\sum k_i C_i C_{O_2}^{ni} \exp\left(-\frac{E_i}{RT}\right)\right].$$

Корректировка задания осуществляется по фактическому содержанию кислорода в дымовых газах.

Диагностика остаточного кислорода решается с использованием анализатора кислорода ЭМГ-21. При повышении содержания остаточного кислорода в дымовых газах анализатор ЭМГ-21 выдает сигнал микропроцессорному контроллеру, который в соответствии с корректирующим алгоритмом изменяет задание регулятору расхода воздуха, воздействующему на исполнительный механизм, установленный на линии подачи воздуха в печь.

Коррекция задания регулятору расхода воздуха происходит также при изменении расхода природного газа. Это необходимо для поддержания оптимального соотношения расхода воздуха и природного газа.

С.67. **ОПЫТ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕНТГЕНОВСКИХ ТОЛЩИНОМЕРОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ**

Артемьев Б.В., ЗАО «НИИИН МНПО «Спектр», Москва, Россия
Созонтов А.А., КЗОЦМ, Киров, Россия

Рентгеновские толщиномеры серии РИТ10 обеспечивают точность измерения толщины проката выше 0,2 % от номинала и динамическое изменение поправок на химический состав материала в процессе проката. Они способны измерять толщину проката в любой точке рулона и фиксировать результаты измерений толщины в темпе измерений с выдачей их в реальном времени на монитор оператора, в том числе в графическом виде.

Работая в жестких условиях прокатного производства, любое измерительное средство должно проходить периодические поверки согласно заводским нормалям. Для получения стабильных результатов измерений и высокой надежности работы оборудования в состав толщиномера введена система самодиагностики, позволяющая проводить тестирование прибора дистанционно. Данный подход позволяет сокращать время простоя оборудования в ожидании ремонта и в случае обнаружения брака на последующих этапах обработки металла выявляет причины его появления. На сегодняшний день достигнута точность готового проката на уровне 0,5 % от номинальной толщины материала и выше уже позволяет получить свыше 98 % годной продукции от общей массы слитков (данные УГМК). Использование на протяжении всего технологического цикла производства проката бесконтактных толщиномеров одного типа позволяет применять единый комплект эталонных образцов толщин проката, что влечет за собой единство системы измерения толщины на протяжении всего технологического процесса.

С.68. **ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ**

Казарин Д.В., ОмГУПС, Омск, Россия

Представлены результаты разработки комплекса для диагностики состояния электрических цепей управления, высоковольтных силовых и вспомогательных цепей моторвагонного подвижного состава (МВПС), в совокупности представляющих собой наиболее ответственную систему электропоезда, от которой напрямую зависит безопасность и выполнение графика движения поездов. Высокая сложность их структуры, обусловленная большим числом элементов и их существенным пространственным удалением, делает неэффективным использование ручных приборов и устройств. Реализации поставленной цели способствует стационарное исполнение комплекса, позволяющее создать автономную

распределенную структуру и проводить многочисленные измерения в точках, имеющих значительное удаление друг от друга, в одной временной реализации. Помимо сокращения времени диагностирования за счет оперативной подготовки к работе стационарное исполнение обладает более высокой надежностью и коэффициентом готовности в сравнении с переносными устройствами. Положенный в основу работы комплекса принцип посекционного диагностирования с одновременным вовлечением в процесс максимального числа штатных устройств и цепей позволяет сохранить все структурные взаимосвязи, обеспечив возможность измерения наиболее информативных параметров. Математический аппарат, реализованный в алгоритмах диагностирования, при минимальном числе датчиков и подаваемых на объект воздействий обеспечивает наибольшую глубину диагностирования с точностью до отдельного элемента или сменного функционального блока, в тысячи раз снижает время диагностирования в сравнении с временем, достигаемым при использовании переборных методов. Предложено применять принцип совмещения функционального, реализованного в режиме имитации, и тестового диагностирования цепей управления, благодаря чему достигается возможность выявить и локализовать дефекты даже при наличии неисправностей, нарушающих их нормальное функционирование. При отработке аппаратами цепей заданных режимов производится измерение сопротивлений участков цепей управления силовых и вспомогательных цепей, используемых в качестве диагностических признаков. Вектор, сформированный из диагностических признаков, полученных на каждой позиции регулирования, позволяет: локализовать обрывы поездных и секционных проводов, оценить состояние катушек и контактов аппаратов и реле, выявить неисправности тяговых двигателей и двигателей вспомогательных машин, цепей ослабления возбуждения, пусковых и демпферных резисторов, цепей силового контроллера и отопления, выявить ошибки монтажа проводов и нарушения последовательности срабатывания аппаратов. Таким образом, новизну представляет собой способ комбинированного диагностирования электрических цепей управления, высоковольтных силовых и вспомогательных цепей, а также пневматических цепей секции во всем диапазоне их комбинаций, определяемых положениями контроллера машиниста, силового контроллера и органов управления, которые комплекс задает автоматически. Обоснована необходимость использования в комплексе таких механизмов снижения влияния «человеческого фактора», как идентификация объекта диагностирования – серии и типа электросекции, проверка правильности выполнения подготовительных операций, контроль за действиями оператора и защита от его некорректных действий. Приведена структурная схема комплекса и блок-схема алгоритма диагностирования. Внедрение разработанного комплекса, обеспечивающего оперативную с высокой степенью достоверности диагностику электрических цепей электропоездов на предприятиях железнодорожной отрасли, позволяет перейти на ремонт МВПС по фактическому техническому состоянию и, тем самым, существенно снизить затраты на ремонт и отладку электросекций, практически полностью исключить браки в эксплуатации МВПС по вине ремонтного персонала.

С.69. **МЕТОДИКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ФРИКЦИОННОГО КОНТАКТА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОРЕЗИСТИВНОГО МЕТОДА КОНТРОЛЯ**

Марков В.В., Орловский государственный технический университет (ОрелГТУ), Орел, Россия

Представлена методика математического моделирования электрического сопротивления фрикционного контакта для схем контактирования поверхностей, охватывающих ряд стандартных элементов, выполняющих в механизмах машин функции трибосопряжений.

Известна математическая модель электрического сопротивления фрикционного контакта, отличающаяся от известных моделей использованием распределения Найака для математического описания высоты микронеровностей рабочих поверхностей трибосопряжения и учетом эффекта их приработки [1]. Модель устанавливает вероятностную

взаимосвязь между внутренними параметрами фрикционного контакта, режимами эксплуатации трибосопряжения с одной стороны, и его электрическим сопротивлением – с другой стороны. В рамках моделирования составлены таблицы с расчетными формулами промежуточных параметров модели для основных схем контактирования поверхностей, охватывающих многие стандартные элементы, выполняющие в механизмах машин функции трибосопряжений.

Предлагается обобщенная методика математического моделирования электрического сопротивления фрикционного контакта, включающая в себя следующие этапы.

1. Анализ объекта, выявление входящих в него фрикционных контактов, установление электрических связей между ними, составление электрической схемы замещения объекта.

2. Получение математической модели электрического сопротивления для каждого из фрикционных контактов: составление математического описания каждой из контактирущих поверхностей, характеризующего номинальную геометрию, отклонения формы и расположения поверхностей, характеристики локальных дефектов; задание свойств конструкционных материалов поверхностей деталей; задание режимов работы трибосопряжения, в частности значения нагрузки в контакте (если известна нагрузка на трибосопряжение, то необходимо предварительно решить задачу о распределении нагрузки между фрикционными контактами); задание вида функции распределения высоты микронеровностей контактирующих поверхностей; задание параметров шероховатости каждой из поверхностей, при необходимости учет эффекта приработки поверхностей; выбор вида схемы контактирования поверхностей и определение соответствующей расчетной формулы для сближения, фактической площади контакта, сопротивления фрикционного контакта при граничной и смешанной смазке, предварительно определив контурную площадь и число вероятных контактов.

3. Составление модели сопротивления трибосопряжения на базе моделей отдельных фрикционных контактов и выявленных электрических связей между ними.

Выражения, составляющие математическую модель электрического сопротивления фрикционного контакта, и предложенный обобщенный подход к моделированию сопротивления трибосопряжения как известной совокупности отдельных фрикционных контактов, позволяют получить математическое описание сопротивления практически любого трибологического объекта, работающего в условиях граничной или смешанной смазки.

Получаемая таким образом модель учитывает параметры трибосопряжения (номинальные размеры деталей, свойства материалов, шероховатость, отклонения формы и расположения поверхностей, их локальные дефекты), режимы и условия его эксплуатации.

Литература

1. **Марков В.В.** Уточненная математическая модель электрического сопротивления фрикционного контакта // Физика, химия и механика трибосистем: межвуз. сб. науч. тр. Вып. 7 / под ред. В.Н. Латышева. Иваново: Иван. гос. ун-т, 2008.

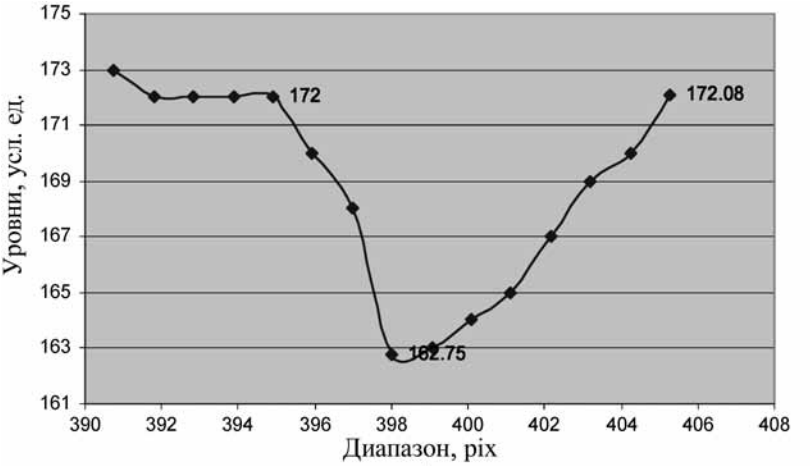
С.70. **ПРИМЕНЕНИЕ ОТСЕИВАЮЩЕГО РАСТРА В ДЕФЕКТОСКОПИИ**

Москалев Ю.А., Буллер А.И., ГОУвПО ТПУ НИИИН, Томск, Россия

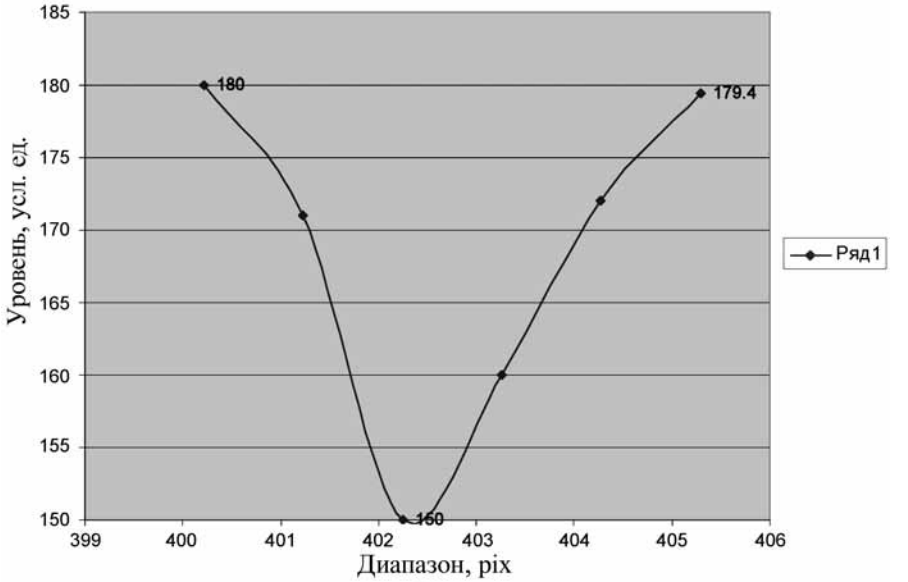
В настоящее время актуальной является задача применения методов неразрушающего контроля в области мягкого рентгеновского излучения, в частности для изделий малых толщин и плотности, для диагностики в медицине и машиностроении.

Поставленная задача достигалась разработкой люминесцентных экранов путем подбора нагрузки люминофоров, обеспечивающих оптимальные параметры яркости и разрешающей способности для выбранного диапазона рентгеновского излучения, а также уменьшением влияния рассеянного излучения на изображение.

При выборе типа экрана преобразователя из следующих экранов (CsI(Tl), МФЭ (металлофлуоресцентный экран), ZnCdS(Ag), $LaOS_3$(Tb)) был выбран CsI(Tl), который удовлетворяет следующим требованиям:



а)



б)

Изменение контраста CsI(Tl):
а – без использования растровой решетки; *б* – с использованием растровой решетки

1) совпадения области чувствительности со спектральным выходом ПЗС-матрицы; $\lambda_{макс}$ = 540 нм;
2) прозрачности к собственному излучению;
3) большого атомного номера Z = 54;
4) большой плотности ρ = 4,51 г·см$^{-3}$;
5) высокой конверсионной эффективностью η = 15…20 %.

Был поставлен ряд экспериментов с CsI(Tl) люминесцентными экранами различной нагрузки.

В рамках работы были проведены исследования по определению изменения контраста вследствие уменьшения рассеянного излучения на изображение с использованием отсевающего растра.

Отсеивающие растры помещаются перед приемником рентгеновского излучения для уменьшения доли рассеянного излучения, возникающего в исследуемом объекте, а также в элементах конструкций рентгеновских аппаратов, расположенных между фокусом рентгеновской трубки и приемником излучения.

Для определения изменения контраста необходимо вычислить разницу между уровнем яркости фона и яркости тестового объекта. Для проведения сравнения получили теневые картинки с использованием экрана CsI(Tl), одна из которых выполнена с использованием растровой решетки, а вторая – без растра (см. рисунок).

Коэффициент улучшения контраста, обусловленный наличием растра

$$K = K_р / K_0.$$

Теневые изображения обработаны специализированным программным продуктом.

Разность уровней яркости экрана CsI(Tl):

$K(\text{CsI}) = B_{фон} - B_{объекта}$;

$K(\text{CsI}) = 172 - 162{,}5 = 9{,}5$ отн.ед;

$K(\text{CsI+rastr}) = 180 - 150 = 30$ отн.ед;

$M = K(\text{CsI + rastr}) / K(\text{CsI}) = 30/9{,}5 = 3{,}2$, где M – показатель увеличения контраста изображения.

Использование растровой решетки в случае CsI(Tl) люминесцентного экрана позволило в 3,2 раза увеличить контраст изображения.

В заключение отметим, что, как вытекает из рассмотренного материала, между характеристиками экранов, определяющими качество изображения, и характеристиками эффективности существует довольно сложная связь, в значительной мере зависящая от условий применения экранов. Это обстоятельство должно постоянно учитываться при решении практических задач. Таким образом, применение люминесцентных экранов CsI(Tl), оптимизированных по своим характеристикам для конкретного диапазона излучения, совместно с отсеивающим растром позволяет значительно повысить информативность теневого рентгеновского изображения.

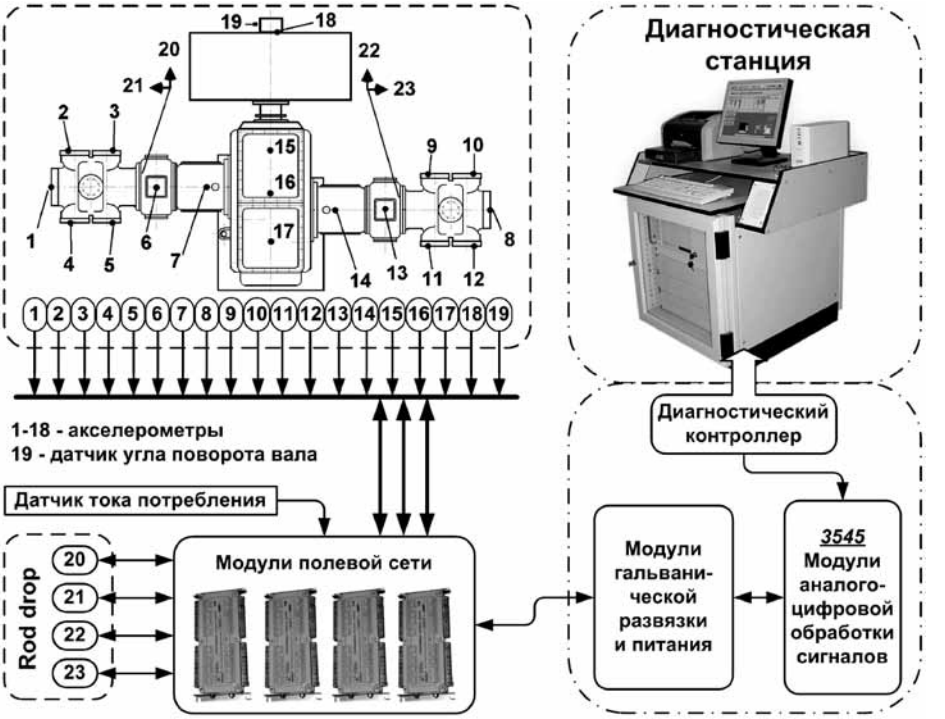
С.71. **СРЕДСТВА МОНИТОРИНГА ПОРШНЕВЫХ КОМПРЕССОРОВ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ**

Науменко А.П., Омский государственный технический университет,
Омск, Россия

Степень обеспечения безопасной и безаварийной эксплуатации поршневых компрессоров (ПК) опасных производственных объектов (ОПО) неразрывно связано с развитием методологии и средств диагностирования и мониторинга технического состояния машин и механизмов возвратно-поступательного действия. Поэтому разработка методологии и технологии диагностирования и мониторинга ПК, в частности, методами виброакустической (ВА) диагностики, а также алгоритмов для автоматических систем диагностики и мониторинга (СДМ) ПК, обеспечивающих безаварийную их эксплуатацию, является актуальной проблемой.

С середины 1990-х гг. прошлого века до сегодняшних дней основное внимание уделяется диагностированию и мониторингу таких узлов ПК, как клапаны, цилиндропоршневая группа (*изнашивание уплотнений, колец и рабочих поверхностей, ослабление крепления поршня*), кривошипно-ползунный (*увеличенный зазор в подшипнике верхней головки шатуна, изнашивание опорной поверхности ползуна, изнашивание штока, ухудшение смазки*) и кривошипно-шатунный механизмы (*увеличенный зазор в шатунном и коренном подшипниках, ухудшение смазки*), корпус компрессора (*ослабление крепления, фундамента*).

Для решения этих задач современная мировая методология и средства диагностики и мониторинга состояния ПК основываются на измерении прямых параметров, характеризующих состояние и условия эксплуатации узлов и деталей ПК, в частности статического и динамического отклонения штока от нормали, температуры клапанов, давления



Структура системы мониторинга ПК в реальном времени

в полостях нагнетания (индикаторной диаграммы), нагрузки на шток, а также косвенных параметров – вибрации корпуса компрессора, крейцкопфного узла, подшипников.

Диагностические сигналы получают либо с помощью стационарно установленных систем, которые часто называют системами on-line-мониторинга, либо с помощью переносных средств. Полученные сигналы используются специалистами-экспертами в качестве исходной информации для анализа технического состояния ПК и постановки диагноза.

В настоящее время известные системы мониторинга ПК практически не используют диагностические сигналы для автоматической постановки диагноза, а также практически не используют характеристики ВА-сигнала, являющиеся косвенными признаками состояния структурных параметров узлов и деталей.

Многолетний опыт эксплуатации СДМ центробежного насосно-компрессорного оборудования (НКО) и поршневых машин «КОМПАКС®» (см. рисунок) позволил разработать методологию и средства диагностирования дефектов и неисправностей НКО и ПК в реальном времени (real time) [1, 2, 4, 5]. Принципиальным отличием систем real time мониторинга от систем on-line-мониторинга является величина периода постановки диагноза [6]. Так, обычные системы on-line мониторинга не учитывают период развития неисправности, а период измерения устанавливают пользователи или разработчики системы исходя из собственного опыта. Постановку диагноза осуществляют специалисты в соответствующей области диагностики по мере необходимости, что не предотвращает аварийные остановки НКО и ПК, так как не учитываются скорости развития неисправностей и дефектов. Таким образом, системы on-line-мониторинга относятся к системам с высокой величиной статической и динамической ошибок распознавания состояния оборудования [6]. Поэтому подобные системы можно использовать только для мониторинга состояния оборудования ОПО второй, третьей и более низких категорий опасности [6].

В СДМ в реальном времени научно обоснованный период постановки диагноза [1] обусловливает величину статической и динамической ошибок распознавания состояния оборудования менее 5 %, что позволяет осуществлять мониторинг состояния оборудования первой категории опасности [6].

Использование характеристик ВА-сигналов, которые являются функциями состояния узлов и деталей, позволило разработать ряд методов и алгоритмов обработки ВА-сигнала и других физических процессов [1, 3, 5, 7], которые дали возможность создать **автоматическую экспертную систему поддержки принятия решений**. Диагностика узлов и деталей ПК осуществляется в темпе измерения диагностических сигналов. Период измерения не превышает времени развития неисправностей и дефектов, обусловленных объективными процессами изнашивания и накопления усталостных повреждений.

Обобщенно можно выделить следующую методологию анализа параметров диагностического сигнала [1, 5, 7]:

– интегро-дифференциальное преобразование (например, резкость, ускорение, скорость);

– дисперсионный анализ;

– амплитудно-фазовый анализ (например, анализ параметров сигнала по углу поворота вала);

– амплитудно-частотный анализ;

– анализ параметров огибающей сигнала, выделенной в характерных диапазонах частот.

Технология **real time**-мониторинга основывается на измерении таких параметров, которые обеспечивают максимально безопасную эксплуатацию ПК с максимально возможной глубиной диагностирования. При этом мониторингу подвергаются все основные узлы, обеспечивающие безопасное работоспособное состояние ПК (рис.) [1, 2, 3, 4, 5, 7].

Автоматические алгоритмы диагностирования построены на основе анализа циклограммы работы ПК и учитывают для различных узлов такие характерные моменты работы ПК, как открытие и закрытие клапанов, изменение направления движения поршня. Такой подход увеличивает глубину диагностирования каждого узла. А это коренным образом отличает разработанные алгоритмы от других известных. Так, анализ амплитуды виброускорения крейцкопфа через каждые 10° по углу поворота вала позволяет в общем виде оценить перераспределение энергии ВА-колебаний по углу поворота вала, однако существенно затрудняет постановку диагноза.

Спектральный состав ВА-сигнала поршневой машины, в отличие от центробежной, является весьма сложным, и в явном виде практически не представляется возможным использовать спектральные составляющие для оценки состояния узлов и деталей. Однако выделение сигнала в характерной области частот и амплитудно-фазовый анализ процесса во временной области (по углу поворота вала), а также амплитудно-частотный анализ огибающей сигнала позволяют однозначно интерпретировать изменения выделенных составляющих как изменения технического состояния и степень поврежденности узла или детали ПК. Практически оказывается, что одни и те же спектральные инварианты прямого спектра и огибающей выделенного процесса в зависимости от места установки датчика однозначно свидетельствуют о виде неисправности или дефекта и определяют степень их опасности.

Статистическая обработка нескольких сотен реализаций ВА-сигналов позволила выявить закономерности изменений параметров ВА-сигналов и технических состояний узлов и деталей ПК. В результате определены нормы и предельные значения параметров ВА-сигналов, которые надежно определяют состояние ПК [3]. Эти нормы имеют градации Д (допустимо), ТПМ (требует принятия мер) и НДП (недопустимо).

Обеспечение безопасной эксплуатации производственных комплексов требует своевременной доставки информации о техническом состоянии оборудования ОПО персоналу различного уровня ответственности. В real time СДМ «КОМПАКС®» эта задача

решена путем построения и использования диагностической сети COMPACS-Net®, обмен данными в которой возможен по любому из известных каналов передачи цифровой информации [1].

Таким образом, многолетние исследования в области диагностики и мониторинга состояния ПК позволили СДМ «КОМПАКС®» стать практически единственной системой, в которой реализованы современная методология и достижения в области диагностирования и мониторинга состояния поршневых машин, позволяющие обеспечить диагностику и мониторинг ПК в реальном времени на основе многопараметрической обработки диагностических сигналов и реализованных алгоритмов автоматического функционирования экспертной системы поддержки принятия решений, которая, в отличие от других систем, **автоматически в реальном времени** определяет более 20 дефектов и неисправностей ПК.

Литература

1. **Костюков В.Н.** Мониторинг безопасности производства. М.: Машиностроение, 2002. 224 с.
2. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Система контроля технического состояния машин возвратно-поступательного действия // Контроль. Диагностика. 2007. № 3. С. 50–59.
3. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Нормативно-методическое обеспечение мониторинга технического состояния поршневых компрессоров // Контроль. Диагностика. 2005. № 11. С. 20–23.
4. **Костюков В.Н., Науменко А.П.** Система мониторинга технического состояния поршневых компрессоров нефтеперерабатывающих производств // Нефтепереработка и нефтехимия. Научно-технические достижения и передовой опыт. 2006. № 10. С. 38–48.
5. **Науменко А.П.** Методология виброакустической диагностики поршневых машин // Вестник Моск. гос. техн. ун-та им. Н.Э. Баумана. Спец. вып. Сер. Машиностроение. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. С. 85–94.
6. Стандарт ассоциации РОСТЕХЭКСПЕРТИЗА, НПС РИСКОМ «Системы мониторинга опасных производственных объектов. Общие технические требования» (СА 03-002-05). Серия 03 / Колл. авт. М.: Изд-во «Компрессорная и химическая техника», 2005. 42 с.
7. **Науменко А.П.** Исследование виброакустических параметров поршневых машин // Сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-техн. конф. «Двигатель-2007» посвященной 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана / под ред. Н.А. Иващенко, В.Н. Костюкова, А.П. Науменко, Л.В. Грехова. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. С. 518–525.

С.72. НОВЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ МАГНИТОПОРОШКОВОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА СВАРКИ СТАЛЬНЫХ СОСУДОВ И ТРУБОПРОВОДОВ

Федюкович Г.И., ОАО «ИркутскНИИхиммаш», Иркутск, Россия

Неразрушающий контроль (НК) качества сварки является важнейшим элементом Системы экспертизы промышленной безопасности на опасных производственных объектах. Это обусловлено тем, что большое число аварий на предприятиях химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности происходит из-за технологических и эксплуатационных дефектов.

К наиболее опасным дефектам относятся в первую очередь поверхностные трещины всех видов и направлений. Для их выявления используется магнитопорошковый метод, обладающий высокой чувствительностью и простой совокупностью технологических операций. Метод предусматривает намагничивание контролируемых участков до состояния, когда в области дефектов появляются магнитные поля рассеяния (МПР), которые регистрируются с помощью частиц магнитного порошка. Проблема заключается в достижении режима магнитного насыщения контролируемого участка и поддержании его на протяжении всего контроля.

Рис. 1. Намагничивающее устройство МДС-2М

Рис. 2. Намагничивающее устройство МДС-5М

В ОАО «ИркутскНИИхиммаш» разработана серия переносных намагничивающих устройств типа МДС с повышенной локальностью намагничивания. Для проверки режима намагничивания используется принципиально новый контрольный образец с внутренним искусственным дефектом. Проверка проводится по методике отраслевого стандарта с применением сухого способа формирования порошковых осаждений и количественной регистрацией индикаций. Внутренний дефект начинает выявляться только при достижении режима магнитного насыщения. Такого эффекта не наблюдается при использовании традиционных образцов с поверхностными трещинами.

К последним разработкам относятся намагничивающие устройства типа МДС-2М и МДС-5, которые можно применять в полевых условиях, МДС-2М (рис. 1) питается от малогабаритного аккумулятора через преобразователь тока. Работа этого – намагничивающего устройства основана на скин-эффекте магнитного поля переменного тока с частотой 100…150 Гц, позволяющего намагничивать только поверхностный слой контролируемого изделия с минимальным растеканием магнитного потока. Контролю подвергаются все виды сварных швов независимо от толщины деталей сварного соединения, так как устройство имеет возможность настраиваться по форме контролируемой поверхности, компенсируя воздушные зазоры в магнитной цепи.

Намагничивающее устройство типа МДС-5 создано на базе постоянных кольцевых магнитов из сплава NdFeB с высокими значениями остаточной индукции Br и коэрцитивной силы H_c. Их использование имеет одно ограничение – по сечению контролируемой детали до 7 см^2. Это намагничивающее устройство имеет различные функциональные возможности. МДС-5М (рис. 2) позволяет настраиваться на сварные швы угловых соединений, детали из уголков и по окружности трубопроводов. МДС-5Г имеет возможность уменьшать межполюсное расстояние при необходимости повышения индукции в зоне выявления мелких дефектов. МДС-5Ф используется при контроле большого объема стыковой сварки или деталей с плоской поверхностью. При этом обеспечивается удобство и стабильность выполнения операций магнитопорошкового контроля.

Намагничивающие устройства сертифицированы в системе СДС СНК как средства контроля для объектов, подведомственных Ростехнадзору.

ОАО «ИркутскНИИхиммаш» принимает заказы на поставку указанных намагничивающих устройств, а также осуществляет их доработку по просьбе заказчика и комплектует необходимой технологической оснасткой.

ИМЕННОЙ УКАЗАТЕЛЬ

Аббакумов К.Е. 53
Алехин С.Г. 86
Алхимов Ю.В. 17
Антипин В.В. 67
Анцифорова Е.В. 78
Аристов В.П. 54
Артемов В.А. 139
Артемьев Б.В. 148, 150
Бакунов А.С. 48, 123, 139, 141
Белкин Д.С. 99
Борисов Е.Г. 92
Брановицкий И.И. 121
Братусь М.О. 103
Бритвин В.А. 53
Буклей А.А. 19, 127
Буллер А.И. 152
Вавилов В.П. 105
Верхозин Н.А. 30
Власов В.Т. 85
Волчков В.Д. 67
Воронкова Л.В. 45, 129
Воропаев С.И. 123
Глазков Ю.А. 64, 72, 87, 88, 112, 142, 145, 147
Глотов Д.А. 65
Голубятников И.В. 29
Горкунов Б.М. 128
Горкунов Э.С. 21, 107, 108, 118, 119
Гринь Е.А. 37
Дашиева О.Ц. 101
Дубов А.А. 27, 69, 85, 90, 145
Дубов Ал.А. 145
Дубровин Д.В. 88
Есипов Ю.В. 110
Ефимов А.Г. 48
Задворкин С.М. 21, 107, 108
Ильин А.А. 134
Кадисов Л.Г. 54
Казарин Д.В. 54, 150
Каксис А.О. 88
Каксис Ю.А. 88
Калиниченко Н.П. 17
Капранов Б.И. 17, 99, 101, 103, 106
Карабегов М.А. 120
Касьянов В.А. 60
Касьянов С.В. 60
Качанов В.К. 45, 113
Келин А.А. 129
Клименов В.А. 17
Климов В.В. 67
Клопов В.Д. 49, 95, 97
Клюев В.В 15
Ковалев А.В. 22
Козлов В.Н. 89
Коковихин Е.А. 108
Коковкин А.В. 20
Колокольников С.М. 69
Коннов Вл. Вл. 34
Коновалов Р.С. 53
Королев М.В. 65
Коротких Ю.Г. 24
Короткова И.А. 101
Костиков Е.С. 138
Костин В.Н. 32
Костин К.В. 32
Костюков А.В. 54
Костюков В.Н. 54, 98
Кривовяз С.В. 103
Кудрявцев Д.А. 141
Кузнецов К.А. 30
Кулешов В.К. 17
Куров Д.А. 74
Лагаев А.А. 54
Лебедев М.Б. 60
Лепихин А.М. 27, 127
Ли В.Н. 35
Лисицын В.И. 65, 72, 112
Лукиных О.Н. 32
Лукьяненко Э.А. 65
Марков В.В. 84, 151
Мартынов С.А. 72
Маслов А.А. 29
Матвеев В.И. 22

Махов В.Е. 82, 92, 115, 131, 133, 135
Махов В.М. 139
Махова В.А. 92
Мацкевич П.Д. 121
Миляев А.И. 69
Миронов Ю.С. 93
Митенков Ф.М. 24
Митропольская С.Ю. 21, 108, 118, 119
Мишин В.В. 76
Молочков К.А. 94
Москалев Ю.А. 152
Москвичев В.В. 127
Мудров М.А. 106
Мухортов В.М. 110
Мясников В.М. 44, 138
Науменко А.П. 154
Нащекин А.С. 29
Нестерук Д.А. 105
Николаев А.А. 70
Новик А.А. 80
Ноздрачева Е.Л. 51
Павлова Н.С. 137
Палаев А.Г. 22
Панов В.А. 24
Панюшкина М.С. 130
Патракеев Н.В. 82, 135
Пахолкин Е.В. 78
Пичков С.Н. 24
Поволоцкая А.М. 107
Погодин В.К. 30
Подмастерьев К.В. 58, 84
Пономарева О.В. 142, 145
Потапов А.И. 49, 93, 115, 131, 133, 135
Потапов И.А. 82
Прудинник С.А. 143, 144
Размыслович Г.И. 121
Ремезов В.Б. 124
Родин А.Б. 45, 113
Рожемберская Г.Ю. 67
Сажин В.А. 148
Сажин С.Г. 44, 134, 138
Самокрутов А.А. 52, 117
Сандомирский С.Г. 40
Семенов В.В. 58
Сенцов С.И. 91
Сизов С.В. 54
Слесарев Д.А. 57
Смородинский Я.Г. 32
Собранин А.А. 69
Созонтов А.А. 150
Соколов И.В. 45, 113
Соловьев К.Е. 21, 107
Стариков В.А. 54, 55
Студитский А.С. 22
Субачев Ю.В. 108
Сучков Г.М. 51, 129
Тавризова М.А. 142
Тараканов Ю.В. 88
Тарасенков Г.А. 125
Твердохлебов В.Н. 19
Теплякова А.В. 56
Тимофеев Д.В. 113
Ткаченко А.А. 39
Токач Е.Ф. 60
Толмачев И.И. 17
Туробов Б.В. 65
Тюпа И.В. 59
Углов А.Л. 24
Ульянов А.И. 108
Усачев Е.Ю. 19, 60
Федосенко Ю.К. 47, 139
Федчишин В.Г. 22
Федюкович Г.И. 157
Филинов М.В. 29
Фурсов А.С. 29
Херауф Ф. 72
Хлыбов А.А. 24
Хролова О.Р. 142, 145
Чахлов В.Л. 60
Чахлов С.В. 19, 60
Черняев А.П. 27, 127
Чумаков Д.М. 60
Шатерников В.Е. 29
Шевалдыкин В.Г. 52, 117
Шелихов Г.С. 49, 72, 112
Штейн М.М. 60
Шубочкин А.Е. 48
Шумихин В.Ф. 17
Ankit Vajpayee 66
Arnold W. 17
Krűning M. 17
Volkovas V. 42

10TH ECNDT

RSNTTD

Moscow 2010, June 7-11

10-я Европейская конференция и выставка по неразрушающему контролю

Москва, 7 – 11 июня, 2010 г.

Тематические разделы:

ТЕХНОГЕННАЯ ДИАГНОСТИКА
АНТИТЕРРОРИСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА
ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА
СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ, РИСКИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Прием тезисов докладов до 1 июня 2009 г.
Представление текста докладов до 1 января 2010 г.

ЭКСПОЦЕНТР
МЕЖДУНАРОДНЫЕ ВЫСТАВКИ И КОНГРЕССЫ
МОСКВА

Место проведения:
Москва, Экспоцентр

РОНКТД

Российское общество по неразрушающему контролю и технической диагностике (РОНКТД)

Секретариат:
119048, Москва, ул. Усачева, 35, стр.1
Тел.: +7 (499) 246-71-32
Факс: +7 (499) 246-71-32, +7 (499) 246-88-88
e-mail: info@ecndt2010.ru
Home page: www.ecndt2010.ru

Диагностика – основа безопасности